



TESIS - SK142502

**PENGUKURAN SUDUT KONTAK UNTUK  
MENGETAHUI POLARITAS CAIRAN SEBAGAI  
BAHAN MODUL PRAKTIKUM TEGANGAN  
PERMUKAAN**

MUHAMMAD ALWI SYAHARA  
1413 203 002

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. rer. nat. FREDY KURNIAWAN, M. Si.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN PENGAJARAN KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



TESIS - SK142502

**CONTACT ANGLE MEASUREMENTS TO  
DETERMINE THE POLARITY OF LIQUID AS A  
MODUL SOURCES OF SURFACE TENSION  
EXPERIMENT**

MUHAMMAD ALWI SYAHARA  
1413 203 002

SUPERVISOR  
Dr. rer. nat. FREDY KURNIAWAN, M. Si.

MASTER PROGRAM  
CHEMISTRY DEPARTMENT  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Sains (M.Si)**  
di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

oleh  
**Muhammad Alwi Syahara**  
**NRP.1413203002**

**Tanggal Ujian : 11 Januari 2016**  
**Periode Wisuda : Maret 2016**

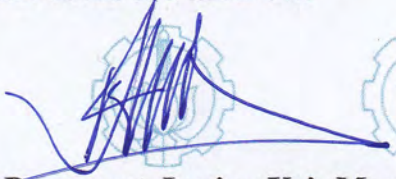
**Disetujui Oleh :**

  
**1. Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si.**  
**NIP. 19740428 199802 1 001**

**(Pembimbing)**

  
**2. Nurul Widiastuti M.Si., Ph.D.**  
**NIP. 19710425 199412 2 001**

**(Penguji)**

  
**3. Prof. Dr. rer. nat. Irmina Kris Murwani**  
**NIP. 19641224 198903 2 002**

**(Penguji)**

**Direktur Program Pascasarjana,**



**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.**

**NIP. 19601202 198701 1 001**



# PENGUKURAN SUDUT KONTAK UNTUK MENGETAHUI POLARITAS CAIRAN SEBAGAI BAHAN MODUL PRAKTIKUM TEGANGAN PERMUKAAN

Nama mahasiswa : Muhammad Alwi Syahara  
NRP : 1413203002  
Pembimbing : Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M. Si.

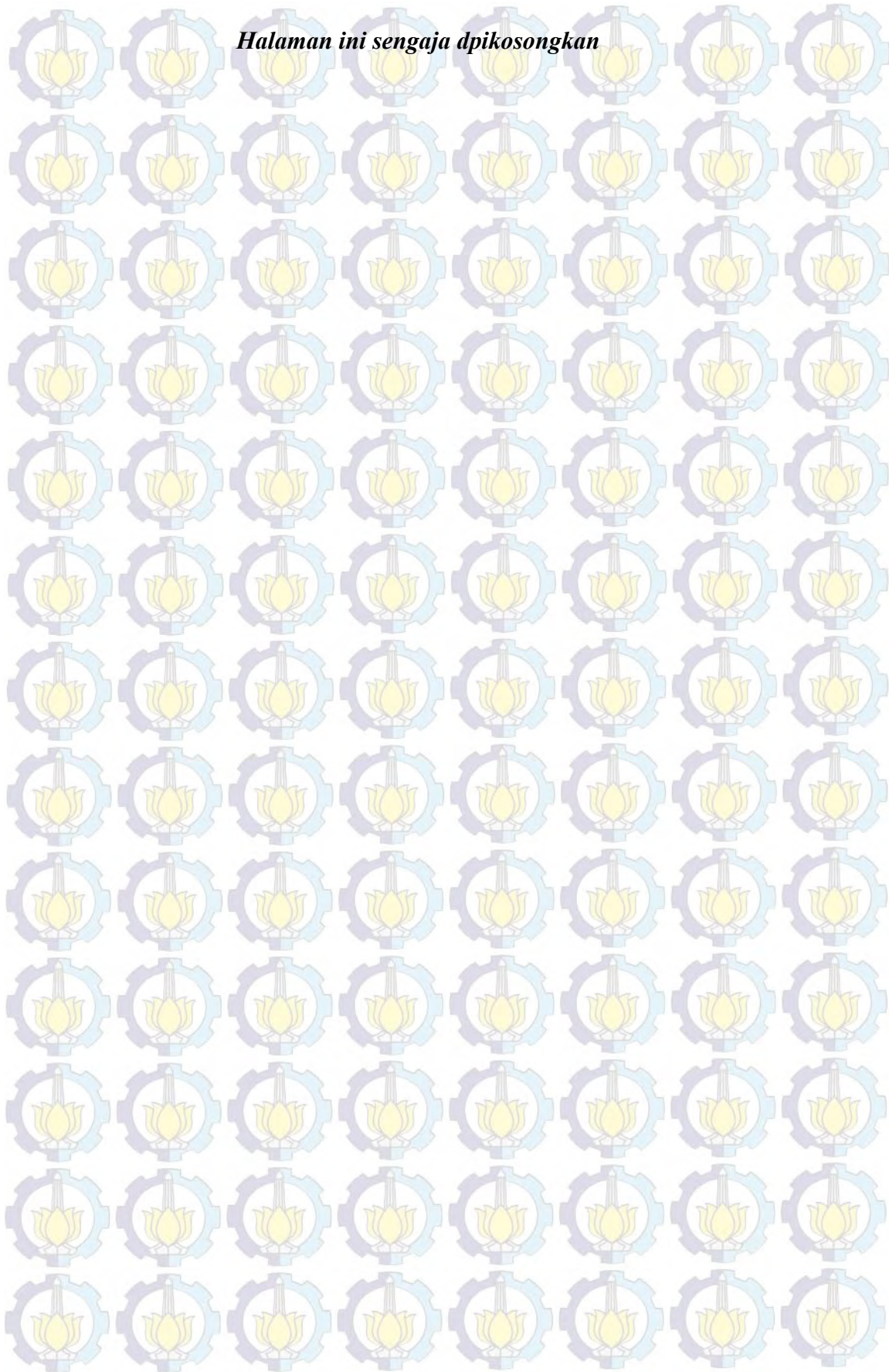
## ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk pengembangan alat pengukur sudut kontak (goniometer) menjadi alat penentu polaritas larutan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai metode dalam penentuan polaritas cairan melalui praktikum tegangan permukaan pada tingkat sarjana. Pada penelitian ini dirakit goniometer sederhana yang digunakan untuk pengambilan gambar tetesan cairan. Cairan yang digunakan adalah *n*-heksana, aseton, etanol, propilen glikol, gliserol, air, cairan etanol-air dengan rasio 1:3 dan 3:1, serta cairan aseton-etanol dengan rasio 1:3 dan 3:1 kemudian ditetaskan di atas plat polimer PTFE, PMMA, dan PVC. Data yang diperoleh dari goniometer berupa gambar pemotretan cairan pada plat polimer. Gambar yang diperoleh diproses dengan perangkat lunak *ImageJ* dan tambahan plug-in *Low-Bond Axisymmetric Drop Shape Analysis* (LB-ADSA). Hasil pemrosesan gambar merupakan besar sudut kontak yang terbentuk antara cairan dan padatan polimer sesuai dengan skala polaritas Reichardt ( $E_T^N$ ). Sudut kontak terendah ditunjukkan oleh *n*-heksana ( $E_T^N = 0,09$ ), yaitu  $0,000^\circ$  dan sudut kontak tertinggi ditunjukkan oleh air ( $E_T^N = 1$ ), yaitu  $118,332^\circ$  pada plat PTFE, sedangkan pada plat PMMA berturut-turut *n*-heksana =  $0,000^\circ$ , air =  $66,697^\circ$ , dan pada plat PVC *n*-heksana =  $0,000^\circ$ , air =  $71,362^\circ$ . Kurva skala polaritas terhadap sudut kontak menunjukkan korelasi sigmoid dengan nilai  $R^2$  pada PTFE, PMMA, dan PVC berturut-turut, yaitu 0,95511, 0,96579, dan 0,95469. Hasil menunjukkan bahwa polaritas cairan dapat ditentukan dengan pengukuran sudut kontak pada permukaan PTFE, PMMA, dan PVC.

Kata kunci : sudut kontak, polaritas, tegangan permukaan, *low-bond axisymmetric drop shape analysis*, praktikum kimia fisika.



*Halaman ini sengaja dpikosongkan*





# CONTACT ANGLE MEASUREMENTS TO DETERMINE THE POLARITY OF LIQUID AS A MODUL SOURCE OF SURFACE TENSION EXPERIMENT

Student name : Muhammad Alwi Syahara  
NRP : 1413203002  
Advisors : Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M. Si.

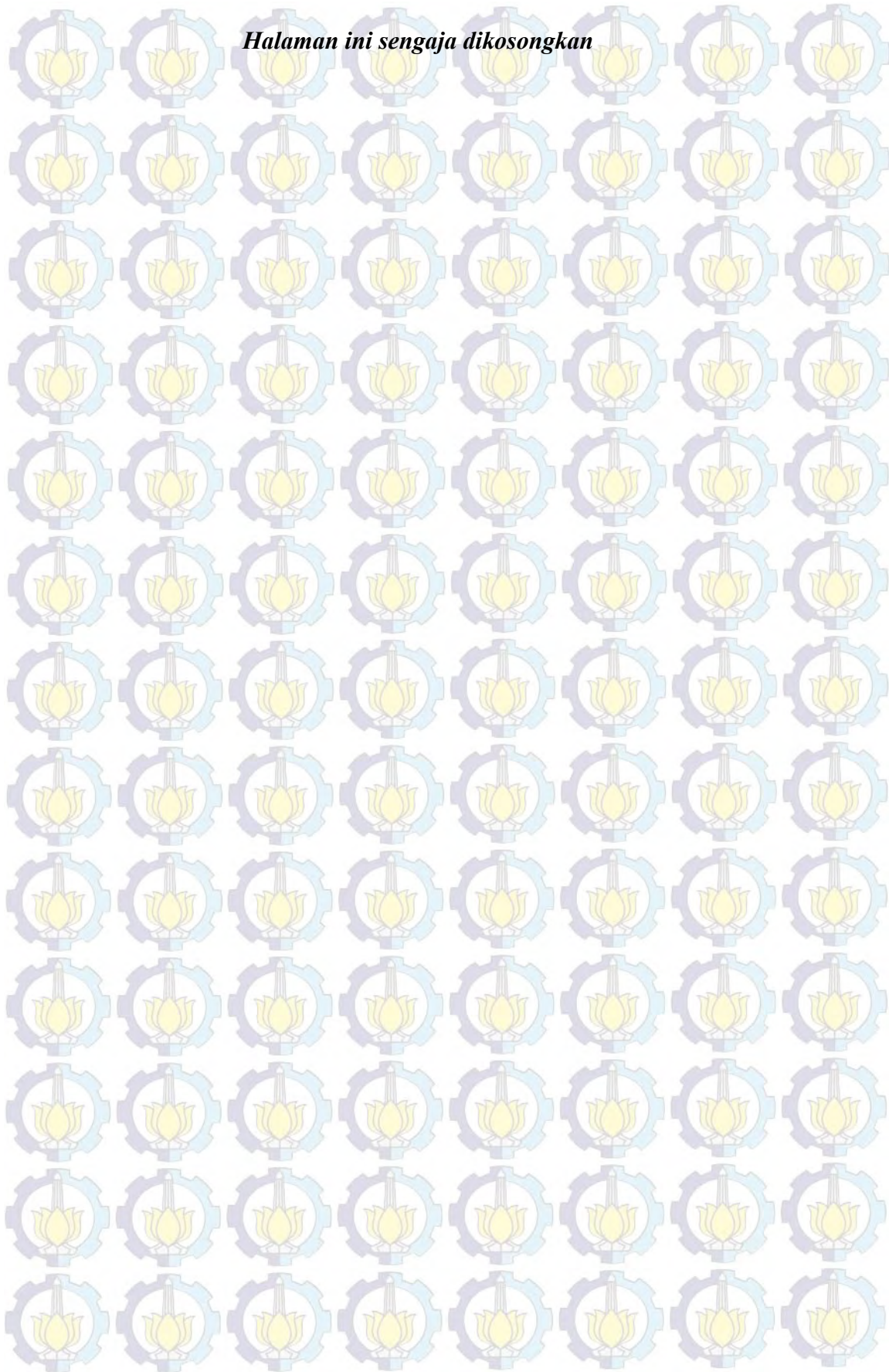
## ABSTRACT

A research has been conducted for development a contact angle measuring device (goniometer) into method that can determine polarity of solution. The results of this research can be used as a method to determine the polarity of liquids through the physical chemistry experiment for undergraduate level. In this research has been assembled a simple goniometer to took liquids drop shape profile. Liquids that have been used were *n*-hexane, acetone, ethanol, propylene glycol, glycerol, water, mixed ethanol and water ratio 1:3 and 3:1, and mixed acetone and ethanol ratio 1:3 and 3:1 that dripped on PMMA, PVC, and PTFE plate. The obtained data from the goniometer was drop shape images on polymer plate. The obtained image was processed using the software ImageJ with additional plug-in Low-Bond Axisymmetric Drop Shape Analysis (LB-ADSA). The result of image processing was a contact angle between liquid and solid and it was varying due to the Reichardt polarity scale ( $E_T^N$ ). The lower contact angle has been obtained from *n*-hexane ( $E_T^N = 0,09$ ) that was  $0,000^\circ$  and the higher contact angle has been obtained from water ( $E_T^N = 1$ ) that was  $118,332^\circ$  on PTFE plate, on PMMA respectively, *n*-hexane =  $0,000^\circ$ , water =  $66,697^\circ$  and on PVC *n*-hexane =  $0,000^\circ$ , water =  $71,362^\circ$ . The curve between Reichardt polarity scale versus contact angle shown that it had a sigmoidal correlation curve with  $R^2$  on PTFE, PMMA and PVC respectively 0,95511, 0,96579, and 0,95469. It implied the polarity of liquids can be determined by contact angle measurement on PTFE, PMMA and PVC surfaces.

Keywords : contact angle, polarity, surface tension, *low-bond axisymmetric drop shape analysis*, physical chemistry experiment.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*





## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah swt atas rahmat, rezeki, dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “PENGUKURAN SUDUT KONTAK UNTUK MENGETAHUI POLARITAS CAIRAN SEBAGAI BAHAN MODUL PRAKTIKUM TEGANGAN PERMUKAAN”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister pada program studi Pascasarjana Pengajaran Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Atas terselesaikannya Tesis ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M. Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, saran dan pengarahan dalam penyusunan Tesis.
2. Prof. Dr. Surya Rosa Putra, M.S dan Sri Fatmawati, M. Sc., Ph. D. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan akademik selama kegiatan perkuliahan.
3. Prof. Mardi Santoso, Ph. D. selaku ketua prodi Pascasarjana Kimia ITS.
4. Keluarga yang telah memberikan dukungan materiil maupun non materiil.
5. Teman-teman S2 Pengajaran Kimia ITS yang telah berjuang bersama-sama dan teman-teman Laboratorium Kimia Instrumentasi Analitik yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan penelitian.
6. Semua pihak yang banyak membantu dalam pelaksanaan dan penyelesaian Tesis ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

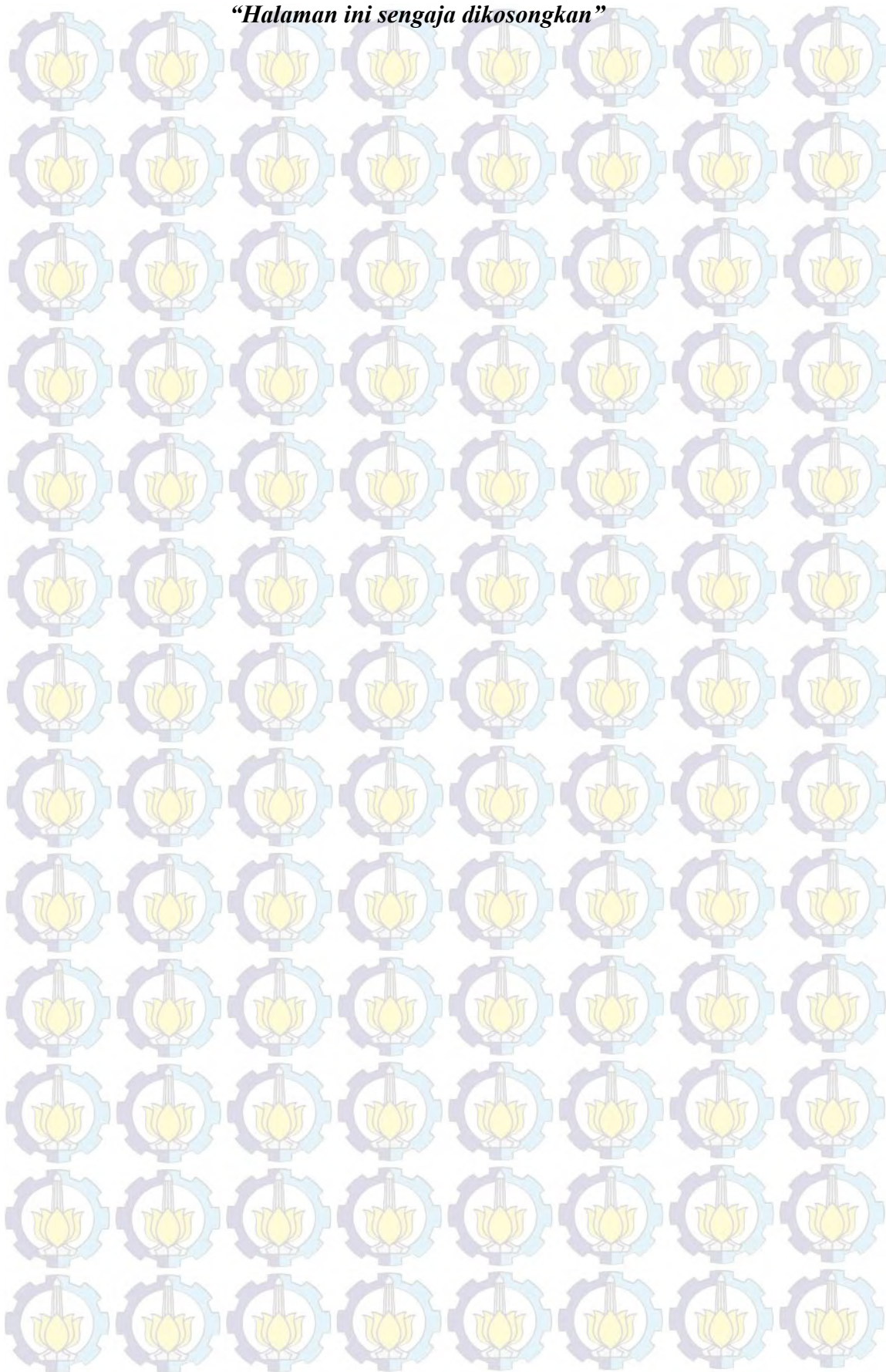
Penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun guna perbaikan dalam Tesis ini, sehingga Tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, Desember 2015

Penulis



***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***





## DAFTAR ISI

|                                                                  |      |
|------------------------------------------------------------------|------|
| HALAMAN SAMPUL .....                                             | i    |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                                          | iii  |
| KATA PENGANTAR .....                                             | v    |
| ABSTRAK .....                                                    | vii  |
| DAFTAR ISI .....                                                 | xi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                              | xv   |
| DAFTAR TABEL .....                                               | xvii |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                            | xix  |
| <br><b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>                                     |      |
| 1.1 Latar Belakang .....                                         | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                         | 4    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                      | 5    |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                                     | 5    |
| <br><b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>                                |      |
| 2.1 Permukaan dan Keterbasahan.....                              | 7    |
| 2.2 Sudut Kontak .....                                           | 8    |
| 2.2.1 Histeresis Sudut Kontak .....                              | 13   |
| 2.3 Pengukuran Sudut Kontak .....                                | 15   |
| 2.3.1 Pengukuran Tetesan ( <i>Sessile Drop Method</i> ).....     | 15   |
| 2.3.1.1 Metode Pemrosesan Gambar-Analitis .....                  | 17   |
| 2.3.1.2 Metode Pemrosesan Gambar Khusus .....                    | 18   |
| 2.3.2 Metode Wilhelmy .....                                      | 19   |
| 2.3.3 Teknik Kenaikan Kapiler.....                               | 21   |
| 2.4 Tegangan Permukaan.....                                      | 22   |
| 2.5 Gaya Interaksi Molekular .....                               | 24   |
| 2.5.1 Gaya London (Interaksi Dipol-Dipol Terinduksi).....        | 24   |
| 2.5.2 Gaya Debye (Interaksi Dipol Permanen-Dipol Terinduksi).... | 25   |



|                                   |                                                                        |    |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.3                             | Gaya Keesom (Interaksi Dipol-Dipol Permanen)                           | 25 |
| 2.6                               | Adhesi dan Kohesi                                                      | 26 |
| 2.7                               | Polaritas Molekul dan Momen Dipol                                      | 27 |
| 2.8                               | Pengukuran Skala Polaritas                                             | 28 |
| 2.8.1                             | Penentuan Skala Polaritas Melalui Pengukuran Kinetik dan Kesetimbangan | 29 |
| 2.8.2                             | Penentuan Skala Polaritas Melalui Pengukuran Spektroskopi              | 29 |
| 2.8.3                             | Penentuan Skala Polaritas Melalui Pendekatan Multiparameter            | 30 |
| 2.9                               | Polimer                                                                | 31 |
| 2.9.1                             | Tegangan Permukaan Padatan Polimer                                     | 32 |
| <b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>    |                                                                        |    |
| 3.1                               | Alat dan Bahan                                                         | 35 |
| 3.2                               | Preparasi Plat                                                         | 35 |
| 3.3                               | Kalibrasi Alat                                                         | 35 |
| 3.4                               | Pengukuran Sudut Kontak Pada Plat Polimer                              | 36 |
| 3.5                               | Penentuan Hubungan Sudut Kontak dan Skala Polaritas                    | 37 |
| 3.6                               | Penyusunan Modul Praktikum                                             | 37 |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> |                                                                        |    |
| 4.1                               | Kalibrasi Alat                                                         | 39 |
| 4.2                               | Pengukuran Sudut Kontak Pada Plat Polimer                              | 39 |
| 4.3                               | Pengukuran Sudut Kontak Cairan                                         | 49 |
| 4.4                               | Penentuan Hubungan Sudut Kontak dan Skala Polaritas                    | 60 |
| 4.5                               | Penyusunan Modul Praktikum                                             | 63 |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> |                                                                        |    |
| 5.1                               | Kesimpulan                                                             | 65 |
| 5.2                               | Saran                                                                  | 66 |



## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1  | Hubungan fasa gas-cair-padat membentuk sudut kontak.....                                                                                                                                                            | 9  |
| Gambar 2.2  | Peta konsep yang menghubungkan sudut kontak dengan polaritas yang diadaptasi dari silabus S1 Kimia ITS.....                                                                                                         | 12 |
| Gambar 2.3  | Perbandingan besar sudut kontak a. Keterbasahan permukaan padatan dan bentuk tetesan dengan sudut kontak $< 90$ , b. Bentuk tetesan dengan sudut kontak $= 90$ , c. Bentuk tetesan dengan sudut kontak $> 90$ ..... | 13 |
| Gambar 2.4  | Ilustrasi bentuk tetesan pada bidang miring yang menunjukkan advancing dan receding angle. ....                                                                                                                     | 14 |
| Gambar 2.5  | Ilustrasi sudut kontak dinamis dengan membuat advancing angle dan receding angle.....                                                                                                                               | 14 |
| Gambar 2.6  | Goniometer produksi Rame-Hart .....                                                                                                                                                                                 | 16 |
| Gambar 2.7  | Goniometer dual channel sederhana buatan Anggriawan .....                                                                                                                                                           | 17 |
| Gambar 2.8  | Ilustrasi metode wilhelmy .....                                                                                                                                                                                     | 20 |
| Gambar 2.9  | Ilustrasi metode kenaikan kapiler .....                                                                                                                                                                             | 21 |
| Gambar 2.10 | Ilustrasi tegangan permukaan yang disebabkan oleh ketidakseimbangan daya pada permukaan molekul cairan .....                                                                                                        | 23 |
| Gambar 2.11 | a) rantai polimer lurus b) rantai polimer bercabang c) polimer sambung silang d) polimer jaringan tiga dimensi.....                                                                                                 | 32 |
| Gambar 4.1  | Tetesan cairan uji pada plat polimer a) Aqua DM b) plat polimer.....                                                                                                                                                | 40 |
| Gambar 4.2  | Struktur molekul PMMA (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D .....                                                                                                                                         | 41 |
| Gambar 4.3  | Struktur molekul PVC (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D .....                                                                                                                                          | 43 |
| Gambar 4.4  | Struktur molekul PTFE (A) struktur 2-D (B) struktur 3-D .....                                                                                                                                                       | 46 |
| Gambar 4.5  | Struktur senyawa <i>n</i> -heksana (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D.....                                                                                                                             | 52 |



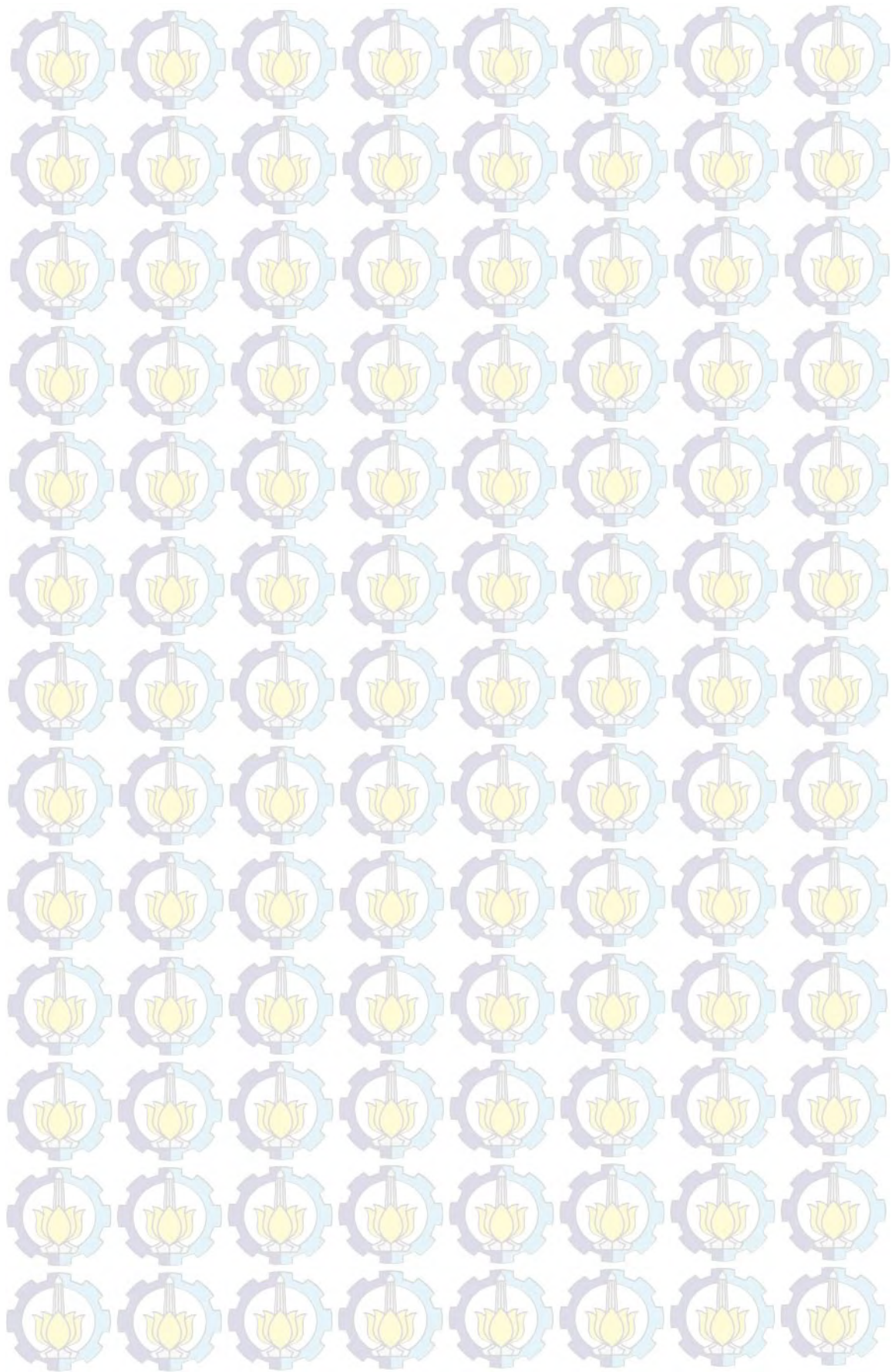
|             |                                                                                       |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.6  | Struktur molekul Aseton (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D .....         | 53 |
| Gambar 4.7  | Struktur molekul Etanol (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D .....         | 55 |
| Gambar 4.8  | Ilustrasi ikatan hidrogen antara molekul etanol dan air .....                         | 56 |
| Gambar 4.9  | Struktur molekul Propilen glikol (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D..... | 57 |
| Gambar 4.10 | Struktur molekul Gliserol (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D .....       | 58 |
| Gambar 4.11 | Struktur molekul Air (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D .....            | 59 |
| Gambar 4.12 | Kurva sudut kontak terhadap skala polaritas cairan uji pada plat PMMA .....           | 60 |
| Gambar 4.13 | Kurva sudut kontak terhadap skala polaritas cairan uji pada plat PVC.....             | 61 |
| Gambar 4.14 | Kurva sudut kontak terhadap skala polaritas cairan uji pada plat PTFE .....           | 62 |



## DAFTAR TABEL

|           |                                                                                       |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 | Momen Dipol Beberapa Molekul Sederhana .....                                          | 28 |
| Tabel 4.1 | Hasil kalibrasi pengukuran sudut kontak antara air dengan plat polimer PTFE .....     | 40 |
| Tabel 4.2 | Sudut kontak cairan uji dengan 10 kali pengulangan pada plat polimer PMMA.....        | 42 |
| Tabel 4.3 | Sudut kontak cairan uji dengan plat PMMA dibandingkan dengan skala polaritasnya ..... | 43 |
| Tabel 4.4 | Sudut kontak cairan uji dengan plat PVC dibandingkan dengan skala polaritasnya .....  | 44 |
| Tabel 4.5 | Sudut kontak cairan uji dengan 10 kali pengulangan pada plat PVC .....                | 45 |
| Tabel 4.6 | Sudut kontak cairan uji dengan 10 kali pengulangan pada plat PTFE .....               | 47 |
| Tabel 4.7 | Sudut kontak cairan uji dengan plat PTFE dibandingkan dengan skala polaritasnya ..... | 48 |
| Tabel 4.8 | Foto tampak samping sampel cairan uji di atas plat polimer .....                      | 50 |

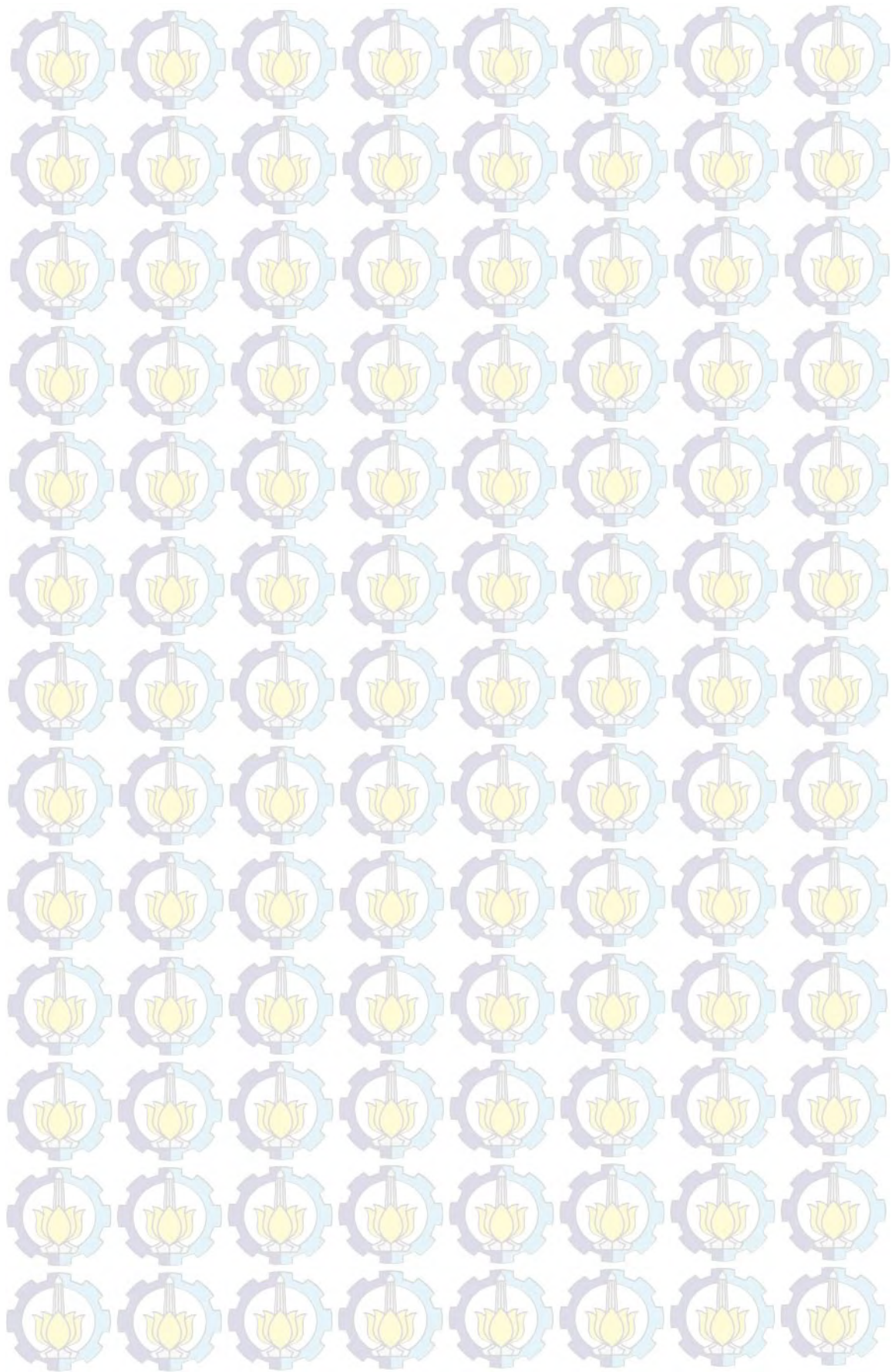




## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| A. Skema Kerja .....                                            | 73  |
| B. Hasil Gambar Tetesan Cairan.....                             | 74  |
| C. Analisis Kurikulum .....                                     | 82  |
| D. Kunci Jawaban .....                                          | 87  |
| E. Modul .....                                                  | 94  |
| F. Instrumen Penilaian.....                                     | 134 |
| F.1 Penilaian Psikomotor .....                                  | 134 |
| F.2 Rubrik Penilaian Psikomotor .....                           | 135 |
| F.3 Penilaian Kognitif .....                                    | 139 |
| F.4 Rubrik Penilaian Kognitif .....                             | 142 |
| F.5 Penilaian Kognitif (Pra-Lab dan Post-Lab).....              | 151 |
| F.6 Rubrik Penilaian Aspek Kognitif (Pre-Lab Dan Post Lab)..... | 153 |
| F.6 Penilaian Afektif .....                                     | 156 |
| F.7 Rubrik Penilaian Afektif.....                               | 157 |
| G. Kuesioner Respon Mahasiswa .....                             | 159 |







## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada saat cairan ditetaskan di atas permukaan suatu padatan, maka dalam beberapa saat cairan akan setimbang. Keadaan setimbang tersebut menyebabkan terbentuknya sebuah sudut  $\theta$ , yang disebut sebagai sudut kontak. Sudut kontak adalah sudut yang terbentuk dari dua garis, dimana garis pertama adalah garis batas antara udara dan zat cair yang ditetaskan dan garis kedua merupakan batas yang terbentuk antara zat cair dan zat padat yang ditetesi. Sudut kontak dapat ditentukan melalui berbagai cara; penentuan sudut tetesan (*sessile drop*) melalui teleskop goniometer, *captive bubble method*, *tilting plate method*, *wilhelmy balance method*, dan metode pipa kapiler (Yuan dan Lee, 2013).

Metode pengukuran sudut kontak yang paling populer adalah penentuan sudut tetesan dengan alat bantu teleskop goniometer, karena pada metode tetesan terdapat sedikit tahapan dan cukup mudah serta sedikit penggunaan jumlah cairan dan padatan (Chini dan Amirfazli, 2011; Li dan Neumann, 1992; Yuan dan Lee, 2013). Pada pengukuran sudut kontak dengan teleskop goniometer diperlukan beberapa peralatan seperti, papan horizontal untuk meletakkan padatan dan cairan, pipet mikrometer untuk meneteskan cairan, sumber cahaya (iluminasi), dan sebuah teleskop/mikroskop yang dapat dilengkapi dengan kamera (Yuan dan Lee, 2013).

Teknik pengukuran sudut kontak dengan alat goniometer adalah dengan mengamati dan mengukur objek tetesan pada padatan, kemudian profil tetesan direkam/dipotret untuk dijadikan gambar 2-D. Gambar tersebut akan diproses untuk penentuan besar sudut kontak yang terbentuk. Ada beberapa cara pemrosesan gambar untuk penentuan besar sudut kontak, yaitu *Axisymmetric Drop Shape Analysis* (ADSA) (Kwok et al., 1997; Rotenberg et al., 1983), *Automated Polynomial Fitting* (APF) (Bateni et al., 2003), *Drop-Snake Analysis* (Stalder et al., 2006), *Low-Bond Axisymmetric Drop Shape Analysis* (LB-ADSA) (Stalder et al., 2010), *Sub-pixel Polynomial Fitting* (SPPF) (Chini dan Amirfazli, 2011). Masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahan dalam penentuan sudut kontak. Metode LB-ADSA digunakan dalam penelitian ini karena metode tersebut



mudah dioperasikan serta dapat diperoleh secara *online* dan gratis. LB-ADSA merupakan *plug-in* tambahan pada perangkat lunak pengolah gambar imageJ. ImageJ dapat diperoleh secara *online*, dan telah banyak digunakan peneliti untuk mengukur sudut kontak antara cairan dan padatan (Anggriawan, 2015; Chini dan Amirfazli, 2011; Gomes et al., 2013; Stalder et al., 2010, 2006).

Pengukuran sudut kontak dianggap penting pada saat ini karena dapat dijadikan sebagai cara mengetahui fenomena keterbasahan. Fenomena pada permukaan seperti keterbasahan dan adhesivitas semakin penting dalam beberapa aspek ilmu terapan dan teknologi. Data yang diperoleh dari pengukuran fenomena ini dapat digunakan untuk peningkatan dan optimasi beberapa karakteristik seperti *water repellency* (penolakan air) pada cat dan kain, sifat detergenitas surfaktan, dan kompatibilitas biomaterial (Dionísio dan Sotomayor, 2000; Grundke et al., 2014). Dionísio dan Sotomayor (2000) menambahkan, teknik pengukuran sudut kontak merupakan teknik yang mudah untuk penentuan karakteristik dasar suatu permukaan seperti tegangan permukaan, dan dapat diaplikasikan sebagai pemantau kebersihan serta *treatment* pada permukaan. Secara lebih umum, pengukuran sudut kontak menjadi teknik dalam karakterisasi sifat antarmuka padatan-cairan, dan sebagai teknik yang mudah untuk pengukuran tegangan permukaan pada permukaan padatan (Kabza et al., 2000; Li dan Neumann, 1992; Soon et al., 2013).

Pengukuran sudut kontak sudah diteliti sejak awal abad ke-19 oleh Laplace dan Young, yang mencoba meneliti fenomena keterbasahan. Selain untuk mengetahui fenomena keterbasahan, pengukuran sudut kontak dapat digunakan untuk mengetahui sifat dasar bahan cairan dan padatan yang meliputi gaya kohesi dan gaya adhesi. Jika sudut kontak yang diperoleh kecil, maka gaya adhesi antara cairan dan padatan besar. Jika sudut kontak yang diperoleh besar, maka gaya kohesi antar molekul cairan tersebut besar. Meskipun teori sudut kontak telah diperkenalkan beberapa dekade ke dalam kimia fisika, namun praktikum dan petunjuk laboratorium belum banyak menggunakan konsep tersebut (Kabza et al., 2000). Beberapa alasan yang menyebabkan praktikum pengukuran sudut kontak tidak banyak ditemui bahkan dihilangkan adalah: 1) peralatan yang digunakan untuk penelitian sifat permukaan benda memerlukan alat khusus dan cukup mahal, sehingga kegiatan praktikum mahasiswa tentang sifat-sifat permukaan sedikit



dihindari (Kabza et al., 2000); 2) penerapan tentang pengukuran sudut kontak yang hanya terfokus pada penentuan tegangan permukaan (Kabza et al., 2000; Li dan Neumann, 1992; Soon et al., 2013).

Berdasarkan hasil survey terbatas pada 32 mahasiswa kimia yang telah mempelajari ilmu kimia permukaan dengan topik tegangan permukaan dan sudut kontak, diketahui bahwa hanya sedikit yang masih mengingat dan memahami materi tersebut. Sebanyak 78% mahasiswa menyatakan tidak tahu atau lupa mengenai pengukuran sudut kontak dan 22% mahasiswa mengetahui pengukuran sudut kontak. Hal ini disebabkan tidak adanya praktikum mengenai tegangan permukaan dan sudut kontak, sehingga pemahaman materi tersebut kurang mendalam. Sebanyak 88% mahasiswa menyatakan tidak pernah melakukan praktikum atau demonstrasi mengenai pengukuran sudut kontak dan 12% mahasiswa menyatakan pernah.

Lamour et al., (2010) berpendapat bahwa, pengalaman praktikum dalam menentukan sudut kontak dan energi permukaan akan memberikan banyak keuntungan pada mahasiswa pada mata kuliah seperti kimia fisika, khususnya pada pembahasan materi tegangan permukaan dan sudut kontak. Mahasiswa akan belajar untuk mengoptimalkan peralatan dalam pengukuran, mahasiswa akan memperhatikan sensitivitas pengukuran sudut kontak yang bergantung pada kualitas permukaan padatan dan kebersihan cairan uji. Kabza et al., (2000) menyatakan bahwa pengamatan terhadap sudut kontak dapat mendemonstrasikan beberapa karakteristik dasar dan fenomena pada permukaan, seperti interaksi molekuler (gaya ion-dipol, dipol-dipol, dan Van der Waals). Mahasiswa dapat melihat hubungan antara material yang basah dengan bentuk tetesan secara makro melalui pengamatan sudut kontak. Pemahaman mahasiswa mengenai karakteristik molekuler dari material dan penggambaran gaya Van der Waals seperti interaksi polar-nonpolar dapat dibantu melalui visualisasi tetesan cairan. Selain itu, mahasiswa diharapkan dapat dengan cepat membuat prediksi tentang gaya adhesi material dan polaritasnya berdasarkan hasil pengukuran sudut kontak. Hipotesis yang dapat diambil dari pernyataan Kabza adalah bahwa pengukuran sudut kontak dapat dikaitkan dengan polaritas cairan. Terdapat sedikit penelitian pengukuran sudut kontak yang dapat memberikan juga informasi mengenai polaritas bahan.



Penelitian yang menunjukkan bahwa hasil sudut kontak dapat menunjukkan karakteristik polaritas cairan, telah dilakukan Restolho et al., (2009). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa cairan ionik memberikan sudut kontak yang besar pada plat polimer (bersifat hidrofobik) dan sudut kontak yang kecil pada plat kaca (bersifat hidrofilik). Menurut Restolho et al., (2009), hal tersebut dapat menjadi korelasi antara sudut kontak dengan polaritas cairan. Namun, pada penelitian tersebut hanya dijelaskan mengenai adanya korelasi antara besarnya sudut kontak dan nilai tegangan permukaan cairan yang berbanding lurus. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sudut kontak tidak hanya dapat digunakan sebagai penentu tegangan permukaan, tetapi juga dapat digunakan sebagai penentu polaritas bahan.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pengukuran sudut kontak dapat digunakan juga untuk penentuan polaritas cairan. Metode penentuan polaritas melalui pengukuran sudut kontak diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu topik praktikum kimia fisika, khususnya tegangan permukaan. Selain itu, melalui praktikum tersebut mahasiswa diharapkan dapat memahami karakteristik permukaan dan interaksinya secara nyata.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pengukuran sudut kontak pada umumnya dapat digunakan untuk menentukan tegangan permukaan (Kabza et al., 2000; Li dan Neumann, 1992; Soon et al., 2013). Selain itu, pengukuran sudut kontak dapat pula digunakan untuk mempelajari sifat interaksi molekuler padatan-cairan/ polaritas (ion-dipol, dipol-dipol, dan gaya Van der Waals) (Kabza et al., 2000). Penentuan polaritas suatu cairan dapat melalui penentuan momen dipol dan konstanta dielektrik (Makosz, 1994; Włodarska, 2014) dan menggunakan metode solvathokromik (Reichardt, 1994). Pada penentuan polaritas melalui penentuan momen dipol dan konstanta dielektrik diperlukan percobaan dan perhitungan matematis melalui persamaan Onsager. Pemenuhan variabel pada persamaannya dilakukan melalui percobaan dengan alat yang tidak sederhana. Penentuan polaritas dengan metode solvatokromik memerlukan pewarna yang cukup rumit dan mahal, sehingga diperlukan terobosan baru yang memudahkan dalam menentukan polaritas cairan.



Pada penelitian ini, hasil pengukuran sudut kontak yang dapat digunakan untuk mempelajari sifat interaksi molekuler padatan-cairan, selanjutnya dikembangkan sebagai metode penentuan polaritas cairan. Pengukuran sudut kontak sebagai metode penentuan polaritas dikembangkan menjadi praktikum kimia mahasiswa dan dituliskan dalam sebuah modul praktikum.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

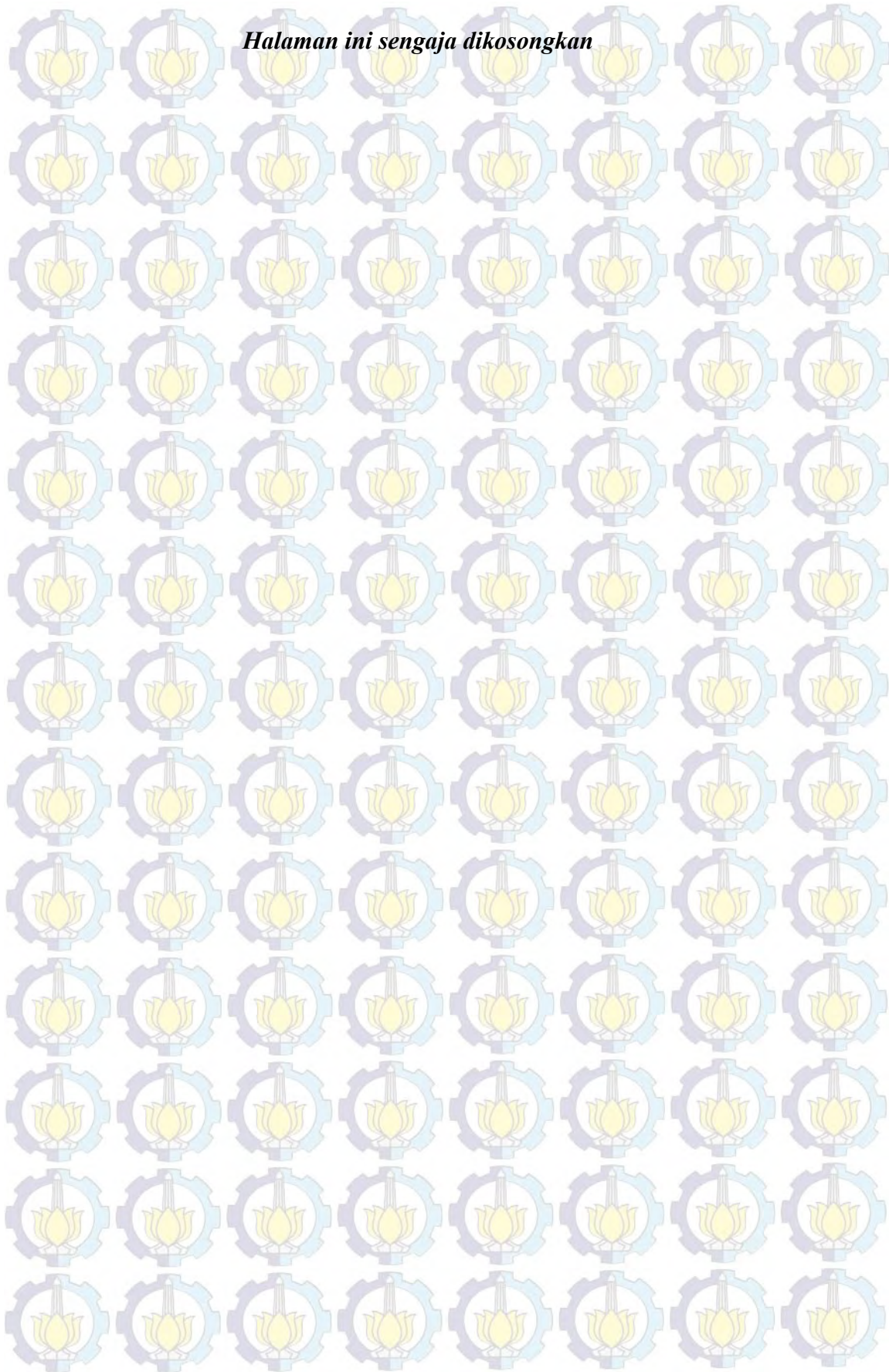
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui polaritas larutan dengan alat yang berbasis sudut kontak serta menjadikan pengukuran sudut kontak sebagai bahan praktikum mahasiswa dalam mata kuliah kimia permukaan pada topik materi tegangan permukaan atau sudut kontak .

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah terdapat terobosan baru dalam penentuan polaritas cairan dengan cara yang mudah, dapat memberikan pengalaman baru pada mahasiswa melalui praktikum penentuan polaritas menggunakan alat pengukur sudut kontak.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*





## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Permukaan dan Keterbasahan

Kata permukaan sering digunakan secara kimiawi sebagai batas fase daripada arti secara geometris. Secara geometris, permukaan memiliki daerah tetapi tidak memiliki ketebalan. Secara kimiawi, permukaan adalah daerah yang memiliki sifat yang bervariasi dari satu fasa ke fasa lain yang berdampingan. Transisi ini terjadi dalam jarak dimensi molekuler. Sebuah permukaan dapat dibayangkan memiliki sebuah ketebalan yang akan menyusut menjadi nol ketika dideskripsikan secara geometris. Istilah antarmuka juga akan digunakan untuk fakta bahwa permukaan yang disoroti adalah wilayah pemisah antara dua fase (Hiemenz dan Rajagopalan, 1997).

Setiap material memiliki bagian terpenting yaitu permukaan, karena permukaan merupakan bagian pertama yang akan berinteraksi/ mengalami kontak dengan material lain (permukaan material lain) dan juga bagian yang berinteraksi dengan atmosfer/udara lingkungan dimana material tersebut berada (Kalin dan Polajnar, 2014). Interaksi antar permukaan dapat terjadi antara permukaan padatan dengan padatan, padatan dengan cairan, atau cairan dengan cairan. Interaksi antar permukaan yang sering diamati dalam dunia industri adalah interaksi antara padatan dengan cairan. Menurut Xu et al., (2013), ketika padatan dan cairan mengalami kontak, maka cairan akan menggantikan lapisan udara pada permukaan padatan, sehingga terbentuk antarmuka padat-cair atau yang disebut dengan fenomena keterbasahan (*wettability*).

Keterbasahan suatu permukaan biasanya dikaitkan dengan *adherence*, pelumasan, dan proses absorpsi cairan, serta berbagai proses yang penting pada dunia industri. Pada kasus interaksi antara padatan dan cairan memiliki peran yang cukup penting, dan untuk mengetahui interaksi tersebut dapat diukur melalui sudut kontak ( $\theta$ ) keterbasahan suatu permukaan (Gomes et al., 2013).

Studi tentang fenomena antarmuka yang melibatkan kontak antara fase cairan dan fase padat memiliki sejarah panjang. Secara historis, fenomena tersebut telah digunakan dalam skala makro masalah teknik. Kemajuan terbaru dalam



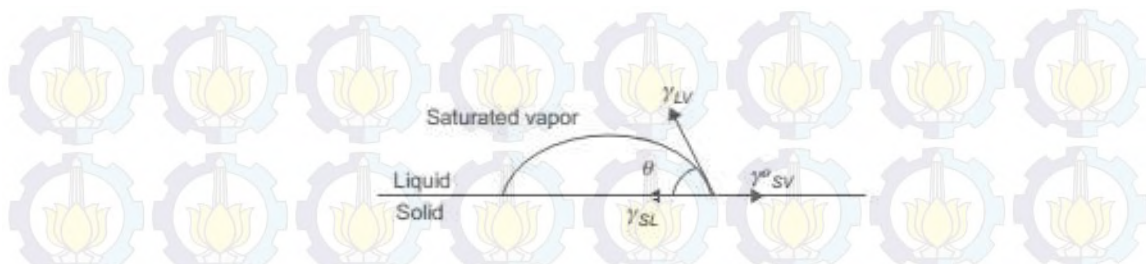
kemampuan untuk memanipulasi materi pada tingkat molekul dan atom menyebabkan pembuatan perangkat miniatur. Karena besar rasio luas permukaan terhadap volume *mikro/nano devices* tersebut, gaya permukaan termasuk tegangan permukaan menjadi fenomena sangat penting dan kontrol seperti pembasahan dan adhesi (Tavana dan Neumann, 2007). Fenomena keterbasahan penting dalam berbagai proses alam dan teknologi. Pembasahan padatan telah banyak dipelajari dari sudut pandang teoritis dan eksperimental selama dua dekade terakhir.

Menurut Adamson and Gast (1997) keterbasahan memiliki arti, sudut kontak antara larutan dan padatan adalah nol atau mendekati nol, sehingga larutan akan tersebar di atas permukaan padatan dengan merata, dan ketidakbasahan padatan berarti memiliki sudut kontak lebih besar dari  $90^\circ$ , sehingga akan didapati larutan yang cenderung membentuk bulatan dan tergelincir di atas permukaan. Berdasarkan penelitian Zisman dan kolega menunjukkan ketika suatu larutan memiliki harga *cosinus* sudut kontak ( $\theta$ ) = 1, maka hal itu disebut sebagai tegangan permukaan kritis dari keterbasahan padatan ( $\gamma_c$ ). Ebnesajjad dan Ebnesajjad (2013) menyatakan dalam proses keterbasahan larutan yang memiliki kontak disebut sebagai *adhesive* dan padatan sebagai *adherend*. Suatu *adhesive* yang akan membasahi permukaan padatan, haruslah memiliki tegangan yang lebih rendah dibanding tegangan kritis keterbasahan padatan.

## 2.2 Sudut Kontak

Sudut kontak didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk dari dua garis, dimana garis pertama adalah batas antara udara dan zat cair yang ditetaskan dan garis kedua merupakan batas yang terbentuk antara zat cair dan zat padat yang ditetesi. Ketika cairan ditetaskan di atas padatan pada udara terbuka, maka beberapa saat setelah ditetaskan cairan akan dalam keadaan setimbang (Gambar 2.1). Pada keadaan tersebut akan terbentuk sebuah sudut  $\theta$  yang disebut sebagai sudut kontak sesuai dengan ilustrasi gambar berikut:





Gambar 2.1 Hubungan fasa gas-cair-padat membentuk sudut kontak (Ebnesajjad dan Ebnesajjad, 2013)

Sudut kontak berkaitan dengan tegangan permukaan dari gas, cairan, dan padatan, sehingga hubungan antara ketiganya diperlihatkan melalui persamaan Young:

$$\gamma_{LV} \cos \theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (2.1)$$

dimana ( $\gamma_{SV}$ ) tegangan antarmuka antara padatan-udara (disebut juga energi bebas permukaan padatan), ( $\gamma_{LV}$ ) tegangan antarmuka cairan-udara (disebut juga tegangan permukaan), ( $\gamma_{SL}$ ) tegangan antarmuka padatan-cairan, dan  $\theta$  adalah sudut kontak (Wong and Yu, 2013).

Persamaan Young adalah masuk akal dan banyak digunakan, namun kesederhanaannya tampak jelas sangat menipu. Pada kenyataannya permukaan padatan mungkin sangat berbeda dari yang ideal dalam penurunan rumus fungsi di atas. Permukaan padatan sebenarnya cenderung menjadi kasar dan bahkan secara kimia bersifat heterogen. Pernyataan ini banyak yang membenarkan, bahkan untuk permukaan yang telah hati-hati disiapkan. Pada prinsipnya, baik kekasaran dan heterogenitas dapat dimasukkan ke dalam persamaan Young dalam bentuk koreksi empiris. Sebagai contoh, jika sebuah permukaan kasar, faktor koreksi  $\beta$  secara sederhana diberikan sebagai faktor pemberat untuk  $\cos \theta$ , dimana  $\beta > 1$ . Logika yang mendasari koreksi ini adalah sebagai berikut. Faktor  $\cos \theta$  masuk ke dalam persamaan 2.1 karena proyeksi  $\gamma_{LV}$  pada permukaan padatan berada dalam keadaan setimbang. Jika permukaannya kasar, area permukaan yang sesuai akan lebih besar, tetapi hal ini akan “dibayangi” (dengan kata lain, permukaan akan diabaikan) proyeksi, sejak persamaan 2.1 mengasumsikan bahwa permukaannya halus. Faktor



kekasaran  $\beta$  mengkoreksi efek tersebut (oleh karena itu  $\beta > 1$ ). Dengan menggunakan faktor koreksi empiris kekasaran yang dimasukkan, persamaan Young menjadi,

$$\beta \gamma_{LV} \cos \theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (2.2)$$

Sebuah permukaan mungkin juga secara kimiawi heterogen. Dengan asumsi, untuk memudahkan, permukaan dibagi menjadi dua bagian  $f_1$  dan  $f_2$ , kita dapat menulis persamaan,

$$\gamma_{LV} \cos \theta = f_1(\gamma_{S1V} - \gamma_{S1L}) + f_2(\gamma_{S2V} - \gamma_{S2L}) \quad (2.3)$$

Dimana  $f_1 + f_2 = 1$ .

Kekasaran dan heterogenitas mungkin bisa terdapat pada permukaan sesungguhnya. Pada kasus ini, faktor koreksi yang didefinisikan persamaan 2.2 dan 2.3 keduanya akan berperan. Meskipun telah dilakukan modifikasi pada persamaan Young terhadap permukaan nonideal, beberapa persyaratan tambahan sangat sulit untuk dievaluasi secara independen. Oleh karena itu validitas persamaan 2.1 akan terus dipertanyakan (Hiemenz dan Rajagopalan, 1997).

Kesetimbangan termodinamik sudut kontak pada permukaan yang kasar dan heterogen disebut dengan sudut Wenzel dan Cassie-Baxter. Sampai saat ini belum diperoleh panduan umum tentang seberapa halus suatu permukaan padatan untuk kekasaran yang memberikan dampak jelas pada sudut kontak. Oleh karena itu, disarankan bahwa permukaan padat harus disiapkan sehalus mungkin, dan sebisa mungkin inert terhadap cairan yang diujikan. Beberapa teknik untuk preparasi penghalusan homogen permukaan padatan telah dikembangkan, seperti tekanan panas, pemilihan pelarut, rakitan lapisan tunggal, teknik pencelupan, deposisi uap, dan penggosokan permukaan (Yuan dan Lee, 2013).

Pengukuran sudut kontak dianggap penting pada saat ini karena dapat dijadikan sebagai cara menganalisis keterbasahan. Fenomena pada permukaan seperti keterbasahan dan adhesivitas semakin penting dalam beberapa aspek ilmu terapan dan teknologi. Data yang diperoleh dari pengukuran fenomena ini dapat

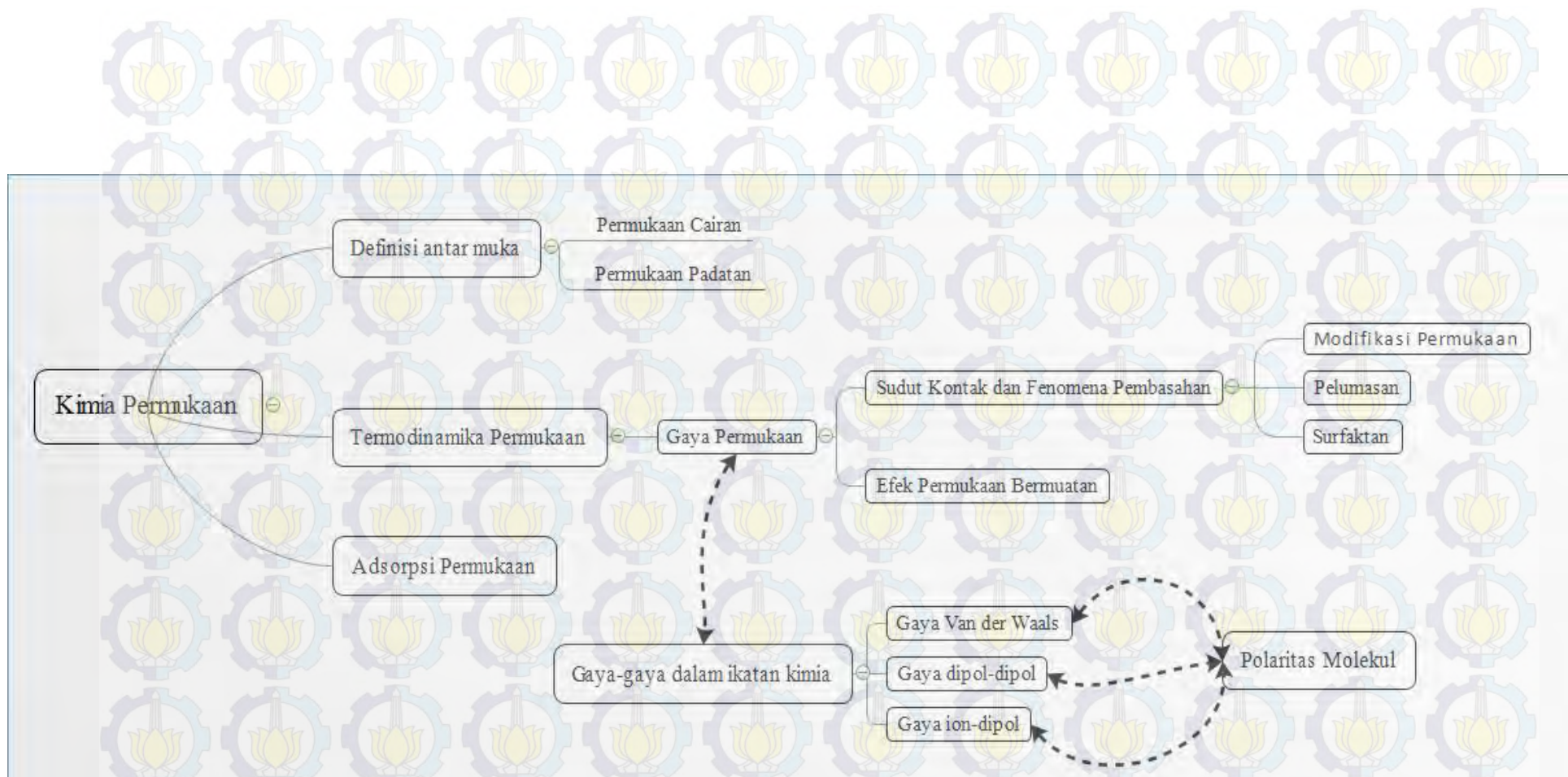


digunakan untuk peningkatan dan optimasi beberapa karakteristik seperti *water repellency* (penolakan air) pada cat dan kain, sifat detergenitas surfaktan, dan kompatibilitas biomaterial (Dionisio dan Sotomayor, 2000; Grundke et al., 2014).

Dionisio (2000) menambahkan, teknik pengukuran sudut kontak menjadi teknik yang cukup mudah untuk menentukan karakteristik mendasar suatu permukaan seperti tegangan permukaan, dan ini juga dapat digunakan untuk beberapa aplikasi untuk memantau kebersihan permukaan dan treatment pada permukaan. Secara lebih umum pengukuran sudut kontak akan menjadi teknik dalam karakterisasi sifat antarmuka padatan-cairan, dan sebagai teknik yang mudah untuk mengukur tegangan permukaan pada permukaan padatan (Kabza et al., 2000; Li dan Neumann, 1992; Soon et al., 2013). Hasil pengukuran sudut kontak, selain dapat menunjukkan sifat permukaan berupa tegangan permukaan dapat juga untuk mendemonstrasikan beberapa karakteristik mendasar lain seperti interaksi molekuler (ion-dipol, dipol-dipol, dan gaya Van der Waals) (Kabza et al., 2000). Hal tersebut dapat dipahami dengan gambaran peta konsep pada Gambar 2.2 untuk dipergunakan dalam pembelajaran. Pengukuran sudut kontak akan sangat bermanfaat bagi mahasiswa dalam memahami karakteristik permukaan suatu bahan, karena dari pengukuran sudut kontak akan nampak bagaimana profil tetesan secara makro.

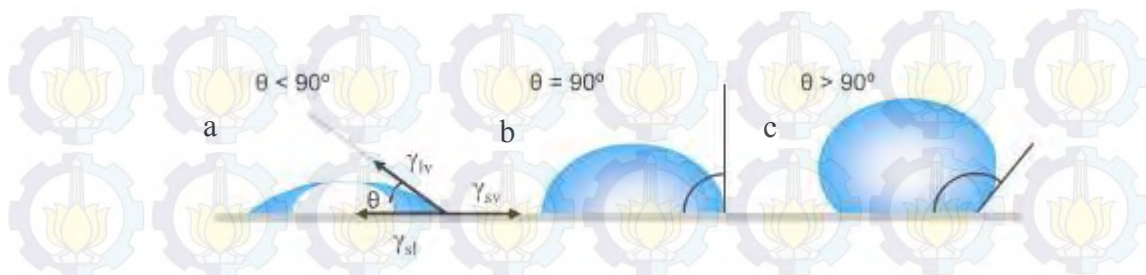
Hasil penampakan pengukuran sudut kontak dapat diilustrasikan seperti gambar di bawah. Gambar 2.3 menjelaskan sudut kontak kurang dari  $90^\circ$  menunjukkan bahwa pembasahan permukaan menguntungkan, dan cairan akan tersebar di besar area pada permukaan; sementara kontak sudut lebih besar dari  $90^\circ$  umumnya berarti membasahi permukaan kurang baik sehingga cairan akan meminimalkan kontak dengan permukaan dan membentuk tetesan cairan kompak. Misalnya, pembasahan lengkap terjadi ketika sudut kontak adalah  $0^\circ$ , seperti tetesan berubah menjadi genangan datar. Untuk permukaan superhidrofobik, sudut kontak air biasanya lebih besar dari  $150^\circ$ , menunjukkan hampir tidak ada kontak antara tetesan cairan dan permukaan, yang mana dapat dikatakan sebagai "efek lotus" (Yuan dan Lee, 2013).





Gambar 2.2 Peta konsep yang menghubungkan sudut kontak dengan polaritas yang diadaptasi dari silabus S1 Kimia ITS





Gambar 2.3 Perbandingan besar sudut kontak a. Keterbasahan permukaan padatan dan bentuk tetesan dengan sudut kontak  $< 90^\circ$ , b. Bentuk tetesan dengan sudut kontak  $= 90^\circ$ , c. Bentuk tetesan dengan sudut kontak  $> 90^\circ$  (Yuan dan Lee, 2013).

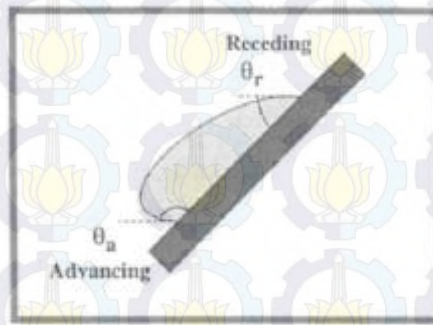
Permukaan yang memiliki kemampuan hidrofobik tinggi (super-hidrofobik) di alam yang paling dikenal adalah permukaan daun teratai (*Lotus*), sehingga istilah yang biasa digunakan untuk permukaan dengan hidrofobisitas tinggi adalah “*Lotus Effect*”. Daun teratai memiliki kemampuan swa-bersih (*self-cleaning*) dan menolak air, yang menjadikannya model alami untuk pengembangan sintesis lapisan superhidrofobik. Selain itu, sudut kontak tidak terbatas pada antarmuka *liquid-vapor* pada padat; mereka juga berlaku untuk antarmuka cair-cair pada padat. Struktur permukaan daun teratai ini memiliki dua tingkatan kekasaran, (dalam skala mikro dan nano) yang mampu memperangkap udara dibawah tetesan air sehingga dapat menyebabkan tetesan air bergulir dan inilah karakteristik permukaan super-hidrofobik yang baik (Bravo et al., 2007).

### 2.2.1 Histeresis Sudut Kontak

Beberapa metode yang telah disebutkan banyak digunakan untuk mengukur  $\theta$ . Bahkan percobaan yang paling hati-hati dipersiapkan pada permukaan yang juga telah hati-hati dipersiapkan, sudut kontak tetap membingungkan. Keadaan terbaik yang dapat dijelaskan pada Gambar 2.4, yang menunjukkan tetesan pada bidang miring. Bentuk tetesan seperti itu sudah dikenali seperti tetesan air hujan pada kaca jendela, masalahnya adalah sudut kontak berbeda di berbagai titik kontak dengan padatan. Hal ini secara luas dikenal dengan istilah *advancing angle*  $\theta_a$  (sudut meningkat) untuk sudut yang cenderung besar dan untuk sudut yang cenderung kecil dikenal dengan istilah *receding angle*  $\theta_r$  (sudut surut). Kehadiran



kontaminan jelas merupakan suatu faktor yang berkontribusi, tetapi tidak berarti satu-satunya. Oleh karena itu, bahkan dengan bahan yang hati-hati dimurnikan, baik *advancing* dan *receding angle* sudut kontak harus diukur (Hiemenz dan Rajagopalan, 1997).



Gambar 2.4 Ilustrasi bentuk tetesan pada bidang miring yang menunjukkan *advancing* dan *receding angle* (Hiemenz dan Rajagopalan, 1997).

Dari persamaan Young diterapkan sistem cair-padat tertentu, tiga parameter termodinamika  $\gamma_{LV}$ ,  $\gamma_{SV}$ , dan  $\gamma_{SL}$  dapat menentukan sudut kontak tunggal dan unik  $\theta_Y$ . Fenomena keterbasahan lebih dari sekedar keadaan statis. Cairan bergerak untuk mengekspos permukaan dan membasahi permukaan padatan. Pengukuran sudut kontak statis tunggal untuk mengkarakterisasi perilaku pembasahan sudah tidak memadai lagi. Jika garis kontak tiga fasa dapat bergerak, maka sudut kontak yang terbentuk disebut sudut kontak “dinamis”. Secara khusus, sudut kontak dibentuk dengan memperluas dan mengkontraksikan cairan yang disebut dengan *advancing angle* dan *receding angle* (Gambar 2.5), masing-masing seperti gambar berikut:



Gambar 2.5 Ilustrasi sudut kontak dinamis dengan membuat *advancing angle* dan *receding angle* (Yuan and Lee, 2013).



Sudut tersebut berada dalam kisaran tertentu, dengan *advancing angle* mendekati nilai maksimum, dan *receding angle* mendekati nilai minimum. Sudut kontak dinamik dapat diukur pada berbagai tingkat kecepatan. Pada kecepatan rendah, hasilnya harus mendekati atau sama dengan sudut kontak statis yang terukur. Perbedaan antara besarnya nilai *advancing angle* dan *receding angle* disebut dengan Histeresis (H):

$$H = \theta_a - \theta_r \quad (2.5)$$

(Yuan dan Lee, 2013)

### 2.3 Pengukuran Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak dapat dilakukan melalui beberapa metode yaitu pengukuran langsung tetesan (*sessile drop*) dengan teleskop goniometer, metode gelembung yang ditahan (*captive bubble method/pendant drop*), metode plat dimiringkan (*tilting plate method*), metode keseimbangan wilhelmy (*wilhelmy balance/wilhelmy plate method*), dan metode pipa kapiler (*capillary rise method*). Metode yang sering digunakan saat ini adalah metode tetesan (*sessile drop*) atau tetesan gantung (*pendant drop*) dan metode wilhelmy. Metode pipa kapiler biasanya digunakan untuk material berpori (Shang et al., 2008).

#### 2.3.1 Pengukuran Tetesan (*Sessile Drop Method*)

Teknik pengukuran sudut kontak yang populer digunakan adalah dengan melakukan pengukuran langsung perpotongan sudut antara kontak tiga fasa pada kontur tetesan cairan. Bigelow et al., (1946) mencoba untuk membuat suatu alat yang disebut teleskop-goniometer, alat tersebut digunakan untuk mengukur sudut kontak beberapa cairan pada permukaan yang terpoles. Selanjutnya, alat komersial pengukur sudut kontak goniometer, didesain oleh W.A Zisman, dan diproduksi oleh perusahaan instrumen ramé-hart di awal tahun 1960 Gambar 2.6 (Yuan and Lee, 2013).

Peralatan yang digunakan berupa papan horizontal untuk meletakkan padatan dan cairan, pipet mikrometer untuk meneteskan cairan, sumber cahaya (iluminasi), dan sebuah teleskop yang dilengkapi fokus. Beberapa modifikasi telah



banyak dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan presisi alat. Kamera dapat ditambahkan pada teleskop untuk mengambil gambar tetesan, sehingga dapat digunakan untuk mengukur sudut kontak dengan waktu yang tidak terbatas. *Syringe* mekanik juga dapat ditambahkan dalam alat untuk mengontrol laju injeksi cairan, sehingga dapat mengukur sudut kontak dinamis cairan (Yuan dan Lee, 2013).



Gambar 2.6 Goniometer produksi Rame-Hart (Yuan dan Lee, 2013)

Peralatan yang lebih sederhana (Gambar 2.7) telah dikembangkan oleh Anggriawan (2015), rangkaian yang digunakan berupa papan akrilik sebagai penampang kamera, cahaya, dan tetesan. Untuk teleskop menggunakan mikroskop USB yang terpasang dual channel, yaitu di sisi samping dan sisi atas. Goniometer pada umumnya memiliki satu teleskop dari sisi samping, sehingga biasa disebut single channel. Goniometer dual channel yang dikembangkan Anggriawan merupakan goniometer modifikasi dengan menambahkan teleskop/mikroskop pada bagian atas. Fungsinya adalah untuk melihat bentuk tetesan cairan dari atas, karena tidak semua tetesan akan berbentuk bulat sempurna. Sehingga, teknik analisis tetesan akan menggunakan teknik yang dapat digunakan adalah; *Axisymmetric Drop Shape Analysis – Profile* (ADSA-P) yang akan menganalisis bentuk miniskus tetesan cairan dari samping dan *Axisymmetric Drop Shape Analysis – Contact Diameter* (ADSA-CD) yang akan menganalisis bentuk tetesan dari atas (Li et al., 1992).





Gambar 2.7 Goniometer *dual channel* sederhana buatan Anggriawan (2015)

Pengukuran secara langsung dengan teleskop goniometer memiliki banyak keuntungan, karena kemudahan dan hanya diperlukan bahan (cairan) yang sedikit serta permukaan plat yang kecil (Chini dan Amirfazli, 2011; Yuan dan Lee, 2013). Pada pengukuran menggunakan metode goniometer, sudut kontak diamati dan diukur dari gambar 2-D tetesan pada permukaan padatan. Gambar 2-D tersebut diproses menggunakan teknik pemrosesan gambar tertentu. Teknik yang digunakan untuk mengukur sudut kontak dari gambar dapat dikategorikan menjadi 2: (1) pemrosesan gambar-analitis, (2) metode pemrosesan gambar khusus (Chini dan Amirfazli, 2011).

#### 2.3.1.1 Metode Pemrosesan Gambar-Analitis

Rotenberg et al., (1983) telah mengembangkan teknik pemrosesan gambar yang disebut ADSA (*Axisymmetric Drop Shape Analysis*) dan dapat digunakan untuk menentukan sudut kontak dari tetesan simetris (*axisymmetric*). ADSA memiliki konsep membuat sebuah fungsi obyektif dimana kesalahan antara batas tepi tetesan yang diamati dengan teoritis (*Laplacian*). Dengan demikian diperlukan pendekatan awal yang baik untuk pembuatan profil tetesan, sehingga membuat



teknik ini sensitif terhadap gangguan. Bagaimanapun juga, karena karakteristik teknik tersebut menyebabkan ADSA hanya terbatas pada pengukuran sudut kontak dengan profil tetesan simetris. Begitu juga untuk profil tetesan sferik persamaan Laplace tidak mudah ditemukan sehingga ADSA mungkin menunjukkan hasil yang kurang akurat.

Stalder et al., (2010) lebih jauh telah memperbaiki kekurangan dari metode ADSA, dengan pendekatan *Low-Bond Axisymmetric Drop Shape Analysis* (LB-ADSA). Hampir mirip dengan ADSA, hanya saja pada LB-ADSA profil teoritis tidak ditekankan pada kontur tetesan akan tetapi dioptimalkan menggunakan pendekatan energi gambar (*image energy*). Pendekatan ini sangat menguntungkan ketika deteksi kontur tetesan akurat sulit ditentukan karena adanya batas yang tidak jelas atau gangguan (*noise*). Pada teknik ini gambar tetesan akan disesuaikan kontur tepinya dengan kontur bawaan program. Setelah kontur keduanya sesuai, *image energy* akan disesuaikan untuk memperoleh sudut kontak tetesan. Pada LB-ADSA juga terdapat pilihan untuk menggunakan energi bagian (*region energy*) dengan memperhitungkan informasi piksel gambar.

#### **2.3.1.2 Metode Pemrosesan Gambar Khusus**

Metode pemrosesan gambar ini memiliki potensi untuk mengukur sudut kontak dengan berbagai macam profil tetesan (simetris maupun asimetris). Oleh karena itu, metode pemrosesan gambar dapat serbaguna ketika diimplementasikan dengan baik. Terdapat beberapa teknik dalam pemrosesan gambar dengan teknik ini, *Automated Polynomial Fitting* (APF) (Bateni et al., 2003), *Snake Based Approach* (Stalder et al., 2006), dan *Sub-pixel Polynomial Fitting* (SPPF) (Chini dan Amirfazli, 2011).

Skema dari teknik *Automated polynomial fitting* (APF) adalah digunakan untuk pengukuran sudut kontak dengan keakuratan tinggi. Metode APF menggunakan gambar tetesan dengan pembesaran tinggi (sekitar 35x) dan mengekstrak gambar dengan teknik tertentu. Selanjutnya, sebuah *polynomial* dipilih untuk profil tetesan yang diamati dalam eksperimen dan sudut kontak dihitung menggunakan slop (garis kemiringan) dari *polynomial* pada titik kontak. Pendeteksi tepi profil tetesan menggunakan teknik deteksi *Laplacian of*



*Gaussian*, karena dianggap yang paling cocok. Teknik APF ini sangat cocok untuk beragam kondisi gambar, seperti sistem lensa cair, tetesan *non-axisymmetric*, tetesan bermuatan elektrik, dimana aplikasi dari metode pengukuran sudut kontak tradisional tidak cukup akurat (Bateni et al., 2003).

Teknik pemrosesan *snake based* berdasarkan penggunaan *B-spline snakes* (kontur aktif) untuk mengukur sudut kontak. Pada metode ini profil gambar tetesan akan ditentukan garis tepinya menggunakan kontur aktif *B-spline snakes*. Penentuan kontur tepi berdasarkan titik-titik yang dikehendaki pengamat hingga sepenuhnya membentuk profil gambar tetesan. Selanjutnya, gambar diperhalus dengan teknik *Laplacian smoothing-filter* dengan jarak radius 2.0 piksel, penerapan *gradient-only image energy*, *knot-spacing constraint* pada 20 piksel dengan rasio *knot-spacing* 2.0 ( $\gamma = 1/3$ ), normalisasi energi  $E_{int}/E_{image} = 0,3$ , maka akan diperoleh hasil sudut kontak dari dua sudut profil tetesan (kanan dan kiri). Teknik ini cocok untuk beragam penerapan yang luas pada gambar tetesan *non-axisymmetric*, tetesan miring, dan tetesan terproyeksi (Stalder et al., 2006).

Metode *Sub-pixel Polynomial Fitting* (SPPF) pada metode ini pengukuran sudut kontak dilakukan dengan menganalisis sisi samping profil gambar tetesan tanpa perlu melihat parameter lain dari cairan seperti volume atau densitas. Prosedur pengukuran sudut kontakya seperti berikut, menemukan lokasi sub-piksel dari tepi tetesan, mendeteksi lokasi tepat dari titik kontak, menepatkan polynomial pada tepi tetesan yang dekat dengan garis kontak kemudian menghitung sudut kontak. Prosedur penemuan lokasi sub-piksel tepian gambar tetesan menggunakan pin pengukur dengan diameter yang diketahui (Chini and Amirfazli, 2011).

### 2.3.2 Metode Wilhelmy

Metode wilhelmy merupakan salah satu metode yang secara luas juga digunakan untuk mengukur sudut kontak. Ketika suatu lempengan tipis dan halus dicelupkan secara vertikal ke dalam cairan (seperti pada Gambar 2.8), terdapat perubahan berat yang terdeteksi oleh suatu keseimbangan. Perubahan gaya yang terdeteksi pada keseimbangan tersebut adalah kombinasi dari daya apung dan



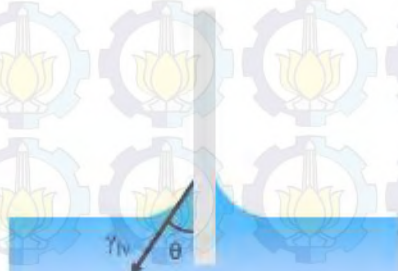
kekuatan pembasahan (gaya gravitasi tetap). Daya pembasahan  $f$  didefinisikan sebagai:

$$f = \gamma_{lv} p \cos \theta \quad (2.6)$$

dimana  $\gamma_{lv}$  adalah tegangan permukaan cairan,  $p$  adalah batas pinggir garis kontak, dan  $\theta$  adalah sudut kontak. Oleh karena itu, total daya yang terdeteksi merubah  $F$  pada keseimbangan sebagai berikut:

$$F = \gamma_{lv} p \cos \theta - V \Delta \rho g \quad (2.7)$$

dimana  $V$  adalah volume cairan yang ditempatkan dengan densitas yang berbeda antara cairan dan udara (atau cairan lainnya), dan  $g$  adalah gravitasi bumi. Dengan demikian, selama tegangan permukaan cair dan batas permukaan padat diketahui, nilai sudut kontak dapat dengan mudah dihitung. Ketika sudut kontak adalah nol dan batas permukaan diketahui, gaya yang diukur berkaitan langsung dengan tegangan permukaan cairan. Sebuah teknik yang dikembangkan Princen memungkinkan untuk mendapatkan sudut kontak nol dengan mengukur tegangan permukaan cairan menggunakan metode keseimbangan wilhelmy.

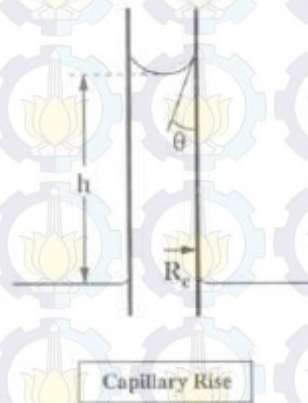


Gambar 2.8 Ilustrasi metode wilhelmy (Yuan dan Lee, 2013)



### 2.3.3 Teknik Kenaikan Kapiler

Kenaikan kapiler juga merupakan ukuran dari komponen vertikal tegangan permukaan, sehingga merupakan alternatif untuk tidak komplemennya metode keseimbangan Wilhelmy. Gambar 2.9 menunjukkan bagaimana percobaan kenaikan kapiler dilakukan. Secara konvensional, pengukurannya berdasarkan ketinggian kolom cairan dalam kapiler di atas batas referensi di dalam wadah penampung. Hal penting yang dianggap perlu adalah diameter luas wadah penampung haruslah cukup besar, sehingga batas referensi memiliki permukaan horisontal yang dapat ditentukan dengan mudah. Pada kapiler cairan akan memiliki meniskus melengkung dan seperti biasanya ketinggian bagian bawah dari meniskus di atas garis horisontal yang diukur. Perlu diketahui bahwa depresi pada kapiler juga diamati, seperti merkuri, dalam hal ini kenaikan kapiler yang diamati dalam kuantitas negatif. Tujuannya adalah menghubungkan kesetimbangan ketinggian kolom cairan  $h$  dengan tegangan permukaan cairan (Hiemenz and Rajagopalan, 1997).



Gambar 2.9 Ilustrasi metode kenaikan kapiler (Hiemenz and Rajagopalan, 1997)

Sebuah hubungan mudah-tetapi belum benar-antara tinggi kenaikan kapiler, diameter kapiler, sudut kontak, dan tegangan permukaan secara mudah diturunkan. Pada kesetimbangan komponen vertikal dari tegangan permukaan ( $2\pi R_c \gamma \cos\theta$ ) sama dengan berat dari kolom cairan, kira-kira sebagai berat silinder dengan ketinggian  $h$  dan diameter  $R$ . Hal ini menyebabkan pendekatan berupa:



$$2\pi R_c \gamma \cos \theta \approx \pi R_c^2 h \Delta \rho g \quad (2.8)$$

Disini  $\Delta \rho$  merupakan perbedaan densitas cairan dan di sekelilingnya dan digunakan dalam merumuskan semenjak sekeliling cairan dapat menjadi cairan kedua yang memiliki efek buoyant dalam kolom cairan, sehingga persamaan 2.8 ditata ulang, diperoleh:

$$\frac{R_c^2}{\cos \theta} \approx \frac{2\gamma}{\Delta \rho g} \quad (2.9)$$

dimana sekelompok konstanta di sisi kanan dari persamaan disebut kapiler konstan dan diberi simbol  $a^2$ :

$$a^2 \approx \frac{2\gamma}{\Delta \rho g} \quad (2.10)$$

Semenjak  $a^2 \propto R_c h$ ,  $a$  memiliki unit panjang, sebagai catatan bahwa tinggi cairan yang merambat dalam dinding kapiler (diasumsikan  $\theta < 90^\circ$ ) meningkat seiring dengan  $R_c$  berkurang. Sebagaimana diharapkan bahwa,  $h$  adalah lebih besar untuk  $\gamma$  besar dan  $\Delta \rho$  kecil. Dengan mengukur  $h$  untuk kapiler yang diketahui diameternya, menggunakan persamaan 2.10 dapat menentukan perkiraan harga  $\gamma$  jika  $\theta$  juga telah diketahui (Hiemenz and Rajagopalan, 1997).

## 2.4 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan didefinisikan sebagai usaha yang diperlukan untuk menambah luas dari permukaan isothermal dan reversibel dengan jumlah satuan. Tegangan permukaan ( $\gamma$ ) adalah dinyatakan sebagai energi permukaan per satuan luas dan alternatif sebagai gaya per satuan panjang (Ebnesajjad dan Ebnesajjad, 2013). Tegangan permukaan cairan dapat diukur secara langsung dan dinyatakan dalam satuan usaha atau energi per satuan area ( $\text{erg}/\text{cm}^2$ ), yang kemudian menjadi  $\text{dyne}/\text{cm}$  ( $\text{erg}/\text{cm}^2 = \text{dyne}$ ;  $\text{cm}/\text{cm}^2 = \text{dyne}/\text{cm}$ ).



Secara teknis tegangan permukaan adalah kekuatan kontraktile yang cenderung menyusutkan permukaan dan bekerja di sekeliling permukaan. Hal ini yang dimaksudkan dalam pembahasan tentang tegangan permukaan cairan. Semua batas fasa memiliki sifat seperti ini, tidak hanya permukaan cairan, bagaimanapun juga bukti tersebut lebih jelas untuk diperuntukkan pada permukaan cairan. Tegangan permukaan sifat dari antarmuka antara dua fasa, sedangkan sudut kontak menggambarkan tepi batas dua fasa dimana juga dibatasi oleh fasa ketiga. Dua fasa harus ditentukan untuk menggambarkan tegangan permukaan, sedangkan fasa ketiga diperlukan untuk menggambarkan sudut kontak (Hiemenz dan Rajagopalan, 1997).

Tegangan permukaan polimer dapat dibagi menjadi 2 komponen, polar ( $\gamma^p$ ) dan dispersi ( $\gamma^d$ ), untuk menjelaskan jenis kekuatan daya tarikan pada antarmuka. Komponen polar terdiri dari berbagai interaksi molekul polar termasuk ikatan hidrogen, energi dipol, dan energi induksi, sedangkan komponen dispersi muncul dari atraksi dispersi London (Ebnesajjad dan Ebnesajjad, 2013). Tegangan permukaan dapat menimbulkan bentuk tetesan pada cairan. Pada cairan murni seperti ilustrasi pada Gambar 2.10, tiap molekul di dalam jumlah besar ditarik sama ke segala arah oleh molekul cair sebelahnya (tetangga), sehingga gaya total adalah nol. Namun, untuk molekul yang berada di permukaan tidak memiliki molekul tetangga di segala arah untuk memberikan gaya total yang seimbang, sebaliknya mereka ditarik ke dalam oleh molekul tetangga dalam sehingga menciptakan tekanan internal. Sebagai akibatnya, cairan dengan sendirinya mengikat area permukaannya untuk mempertahankan energi bebas terendah (Yuan dan Lee, 2013).



Gambar 2.10 Ilustrasi tegangan permukaan yang disebabkan oleh ketidakseimbangan daya pada permukaan molekul cairan (Yuan dan Lee, 2013)



## 2.5 Gaya Interaksi Molekular

Gaya yang timbul antara molekul-molekul tidak sekuat dengan gaya yang timbul antara ion-ion, tetapi gaya tersebut tetap diperhitungkan dalam hal molekul nonpolar yang dapat timbul antara padatan dan cairan. Gaya intermolekuler yang sering disebut gaya van der Waals ini, kesemuanya bersifat elektrik di alam (Solomons and Fryhle, 2009). Molekul tersusun atas atom-atom yang terikat dengan ikatan kovalen. Ikatan kovalen ini merupakan gaya intramolekul (*intramolecular force*) yang mengikat atom-atom menjadi satu kesatuan. Gaya intramolekul ini menstabilkan molekul secara individual. Satu molekul dengan molekul lain yang sejenis atau berbeda dapat mengadakan interaksi atau tarik-menarik. Gaya tarik menarik antara molekul-molekul itu disebut dengan gaya antarmolekul atau gaya intermolekul (*intermolecular force*). Gaya antarmolekul lebih lemah daripada gaya intramolekul. Gaya antarmolekul dapat terjadi antara: (1) molekul nonpolar dengan molekul polar; (2) molekul polar dengan molekul nonpolar; dan (3) molekul polar dengan molekul polar. Semua gaya antarmolekul tersebut secara kolektif disebut dengan gaya van der Waals (Effendy, 2006).

Gaya van der Waals menurut Hiemenz dan Rajagopalan (1997) dapat difokuskan pada: (1) gaya London (interaksi dipol-dipol terinduksi), (2) gaya Debye (interaksi dipol permanen-dipol terinduksi), dan (3) gaya Keesom (interaksi dipol-dipol permanen).

### 2.5.1 Gaya London (Interaksi Dipol-Dipol Terinduksi)

Interaksi antara molekul nonpolar timbul dari dipol sementara yang merupakan akibat dari fluktuasi posisi sesaat elektron. Untuk memahami asal dari interaksi, maka anggaplah elektron pada satu molekul bergetar pada tatanan yang menyebabkan terjadinya momen dipol sesaat  $\mu^*_1$ . Dipol ini menghasilkan medan listrik yang mempolarisasi molekul lain, dan menginduksi molekul tersebut hingga terjadi momen dipol sesaat  $\mu^*_2$ . Kedua dipol ini akan tarik menarik satu sama lain, dan menyebabkan energi potensial pasangan diturunkan. Meskipun molekul pertama akan berubah ukuran dan arah dari momen dipol sesaatnya, distribusi elektron molekul kedua akan tetap mengikuti. Karena korelasi tersebut, tarik-menarik antara dua momen dipol sesaat tidak sama dengan nol, dan menimbulkan



interaksi dipol induksian-dipol induksian. Interaksi inilah yang disebut dengan Gaya London.

Kekuatan interaksi juga bergantung pada kebolehpolaran molekul kedua, untuk itu kebolehpolaran menentukan bagaimana suatu dipol dapat diinduksi oleh molekul lain. Perhitungan mengenai besarnya energi interaksi dapat dituliskan melalui persamaan London:

$$V = -\frac{C}{r^6} \quad C = \frac{3}{2} \alpha'_1 \alpha'_2 \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \quad (2.11)$$

(Atkins dan Paula, 2006)

### 2.5.2 Gaya Debye (Interaksi Dipol Permanen-Dipol Terinduksi)

Sebuah molekul polar dengan momen dipol  $\mu_1$  dapat menginduksi molekul nonpolar didekatnya menjadi momen dipol induksian  $\mu^*_2$ . Dipol terinduksi molekul tersebut akan berinteraksi dengan dipol permanen molekul pertama, sehingga keduanya akan saling tarik menarik. Besarnya energi interaksi dapat dituliskan melalui persamaan Debye:

$$V = -\frac{C}{r^6} \quad C = \frac{(\alpha_2 \mu_1^2 + \alpha_1 \mu_2^2)}{(4\pi\epsilon_0)^2} \quad (2.12)$$

(Hiemenz dan Rajagopalan, 1997)

### 2.5.3 Gaya Keesom (Interaksi Dipol-Dipol Permanen)

Dalam fasa cair, molekul-molekul polar cenderung membentuk susunan dimana pusat muatan positifnya dekat dengan pusat muatan negatif molekul-molekul polar yang lain. Sebaliknya, pusat muatan negatifnya dekat dengan pusat muatan positif molekul-molekul polar yang lain. Dalam posisi ini gaya tarik antara molekul-molekul lebih kuat daripada gaya tolaknya. Karena dalam fase cair molekul-molekul selalu bergerak dan bertumbukan satu dengan yang lain, maka posisi molekul-molekul selalu berubah namun pusat muatan positif dari satu molekul tetap berdekatan dengan muatan negatif molekul-molekul yang lain, begitu juga sebaliknya. Kenaikan energi termal molekul menyebabkan tumbukan antara molekul-molekul sering semakin sering terjadi dan susunan molekul-molekul



semakin acak (*random*). Kekuatan gaya tarik antara molekul-molekul semakin berkurang, sedangkan kekuatan gaya tolaknya bertambah, akan tetapi kekuatan gaya tarik antara molekul-molekul masih lebih tinggi daripada kekuatan gaya tolaknya. Pada waktu temperatur mencapai titik didih cairan maka kekuatan gaya tarik dan gaya tolak adalah seimbang, sehingga cairan mulai mendidih (Effendy, 2006).

Pada keadaan padat atau cair tarikan dipol-dipol menyebabkan molekul menyesuaikan diri, sehingga ujung positif suatu molekul akan diarahkan pada ujung negatif molekul lain. Tarikan dipol-dipol yang sangat kuat dapat terjadi antara ikatan atom hidrogen, atom dengan elektronegativitas tinggi (O, N, atau F) dan pasangan elektron non ikatan pada atom elektronegatif lainnya. Tipe gaya intermolekuler ini dapat disebut sebagai ikatan hidrogen (Solomons and Fryhle, 2009).

Besarnya energi interaksi molekul dapat dituliskan dalam persamaan Keesom:

$$V = -\frac{C}{r^6} \quad C = \frac{2\mu_1^2\mu_2^2}{3(4\pi\epsilon_0)^2kT} \quad (2.13)$$

(Atkins dan Paula, 2006)

## 2.6 Adhesi dan Kohesi

Permukaan cairan yang terdapat dalam suatu pipa gelas yang penampangnya kecil, misalnya pipa kapiler dengan bahan utama SiO<sub>2</sub>, bisa cekung atau cembung. Air yang terdapat dalam pipa kapiler dari gelas permukaannya cekung, sedangkan raksa permukaannya cembung. Molekul-molekul air yang menempel pada pipa kapiler melalui atom hidrogennya membentuk ikatan hidrogen antarmolekul dengan atom-atom oksigen dari SiO<sub>2</sub> yang terdapat pada pipa kapiler. Gaya ikat yang terjadikenal sebagai adhesi (*adhesion*) karena terjadi antara molekul-molekul yang berbeda. Di samping itu, molekul-molekul air tersebut juga mengadakan ikatan hidrogen antarmolekul dengan molekul-molekul air yang tidak menempel pada dinding pipa kapiler. Gaya ikat yang terjadi dikenal sebagai kohesi (*cohesion*), karena terjadi antara molekul-molekul sejenis. Karena adhesi lebih kuat daripada kohesi, maka permukaan air dalam pipa kapiler menjadi cekung. Atom-



atom raksa yang dekat dengan pipa kapiler mengadakan gaya tarik dengan SiO<sub>2</sub> dari pipa kapiler. Gaya tarik ini disebut adhesi. Di samping itu, atom-atom raksa tersebut mengadakan gaya London dengan atom-atom raksa yang tidak menempel pada dinding kapiler. Gaya tarik ini disebut dengan kohesi. Karena adhesi lebih lemah dibandingkan kohesi maka permukaan raksa dalam pipa kapiler menjadi cembung (Effendy, 2013).

## 2.7 Polaritas Molekul dan Momen Dipol

Ketika atom dengan elektronegativitas berbeda berikatan, molekul yang dihasilkan memiliki ikatan yang polar, dengan elektron terkonsentrasi pada atom yang lebih elektronegatif; semakin besar perbedaan elektronegativitas, maka ikatan akan semakin polar. Hasilnya, ikatannya bersifat dwi polar, dengan ujung-ujung positif dan negatif. Polaritas ini akan menyebabkan interaksi khusus antara molekul-molekul, bergantung pada keseluruhan struktur (Miessler et al., 2013).

Suatu molekul diatomik yang memiliki dua atom berbeda (serta memiliki perbedaan elektronegativitas) akan memiliki momen dipol. Secara umum, molekul yang memiliki momen dipol adalah molekul polar. Pada Tabel 2.1 dapat dijumpai beberapa molekul (contoh CCl<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) yang memiliki dua atau lebih atom yang berbeda dan memiliki ikatan polar, akan tetapi tidak memiliki momen dipol (Solomons dan Fryhle, 2009). Resultan molekul dipol dapat diterjemahkan dengan cara berikut: asumsikan pada sebuah molekul terdapat pusat yang bermuatan positif dan pusat bermuatan negatif, jika keduanya tidak memiliki selisih maka molekul tersebut tidak memiliki polaritas. Ukuran resultan polaritas molekul dapat disebut momen dipol,  $\mu$  (simbol yunani mu), yang didefinisikan sebagai besarnya muatan pada kedua ujung molekul dipol dikali dengan jarak antara kedua muatan.

$$\mu = Q \times r \quad (2.14)$$

dimana  $r$  adalah jarak antara pusat muatan positif dan negatif dan  $Q$  adalah perbedaan muatan. Momen dipol dinyatakan dalam Debye (D), dimana  $1 \text{ D} = 3,336 \times 10^{-30} \text{ coulomb meter (C.m)}$  dalam satuan internasional (McMurry dan Fay, 2012).



Tabel 2.1 Momen Dipol Beberapa Molekul Sederhana

| Rumus Molekul   | $\mu$ (D) | Rumus Molekul                   | $\mu$ (D) |
|-----------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| H <sub>2</sub>  | 0         | CH <sub>4</sub>                 | 0         |
| Cl <sub>2</sub> | 0         | CH <sub>3</sub> Cl              | 1,87      |
| HF              | 1,83      | CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> | 1,55      |
| HCl             | 1,08      | CHCl <sub>3</sub>               | 1,02      |
| HBr             | 0,81      | CCl <sub>4</sub>                | 0         |
| HI              | 0,42      | NH <sub>3</sub>                 | 1,47      |
| BF <sub>3</sub> | 0         | NF <sub>3</sub>                 | 0,24      |
| CO <sub>2</sub> | 0         | H <sub>2</sub> O                | 1,85      |

Sumber : Solomons and Fryhle, 2009

Ikatan kovalen polar kita ketahui terbentuk antara atom dengan elektronegativitas yang berbeda. Klor (Cl) lebih elektronegatif dibanding dengan karbon (C), oleh karena itu, atom klor pada kloromethan (CH<sub>3</sub>Cl) menarik elektron ke dalam ikatan C-Cl. Ikatan C-Cl mengalami polarisasi sehingga secara ringan atom Cl menjadi kaya elektron ( $\delta^-$ ) dan karbon secara ringan juga menjadi kekurangan elektron ( $\delta^+$ ). Karena ikatan polar C-Cl pada kloromethan memiliki dua ujung polar, ujung positif dan ujung negatif, kita dapat mendeskripsikan sebagai sebuah ikatan dipol. Sebagaimana ikatan individual pada molekul biasanya selalu polar, molekul secara keseluruhan juga dapat menjadi polar karena perhitungan masing-masing ikatan polar dan kontribusi pasangan elektron bebas (McMurry dan Fay, 2012).

## 2.8 Pengukuran Skala Polaritas

Secara eksperimen, polaritas molekul dapat diukur secara tidak langsung dengan mengukur besarnya nilai dielektrik konstan, dimana rasio kapasitansi sel, diisi substansi yang akan diukur dengan kapasitansi sel dengan keadaan vakum antara elektrodanya. Orientasi dari molekul polar di dalam medan listrik secara parsial akan menolak efek dari medan dan menghasilkan hasil dielektrik konstan yang besar. Momen dipol molekul diatomik dapat diukur secara langsung. Pada



molekul kompleks, penambahan vektor pada dipol ikatan memberikan dipol momen molekul yang seimbang. Bagaimanapun juga, tidak dimungkinkan untuk menghitung dipol molekuler secara langsung dari dipol ikatannya (Miessler et al., 2013).

Katritzky et al., (2004) mengelompokkan penentuan skala polaritas pelarut sifat fisikokimianya menjadi: (1) berdasarkan pengukuran kinetik dan kesetimbangan, (2) pengukuran spektroskopi, dan (3) pendekatan multiparameter.

### 2.8.1 Penentuan Skala Polaritas Melalui Pengukuran Kinetik dan Kesetimbangan

Pengukuran skala dengan cara ini adalah bergantung pada pengaruh pelarut pada kesetimbangan kimia yang ditentukan oleh transfer energi Gibbs standar terlarut (*reagen*) dari satu pelarut kepada pelarut lain atau energi Gibbs standar pelarutan reagen. Secara termodinamik, energi Gibbs standar,  $\Delta G^\circ$  mengandung dua komponen, entalpi  $\Delta H^\circ$  dan entropi  $T\Delta S^\circ$ . Selanjutnya, entalpi dan entropi fungsi dapat ditentukan juga untuk transfer terlarut dan pelarutan. Skala polaritas  $\mu M$  ditentukan oleh Marcus untuk menentukan “kelembutan (*softness*)” pelarut. Hipotesis mendasar dan secara fisika berfokus pada energi Gibbs transfer standar  $\Delta tG^\circ (W \rightarrow S)$  ion dari pelarut standar (air, W) kepada pelarut lain (S). Faktor  $\Delta tG^\circ (W \rightarrow S)$  akan menggambarkan kelembutan dari pelarut pada keadaan yang berbeda untuk ion berat dan lembut. Marcus membandingkan harga  $\Delta tG^\circ (W \rightarrow S)$  untuk  $Ag^+$  (sesuai dengan kelembutan ion univalen) dengan harga rata-rata  $\Delta tG^\circ (W \rightarrow S)$  untuk  $Na^+$  dan  $K^+$ . Kemudian menghasilkan skala kelembutan dasar  $\mu M$  sebagai berikut:

$$\mu M = \{[1/2][\Delta tG^\circ(Na^+, W \rightarrow S) + \Delta tG^\circ(K^+, W \rightarrow S)] - \Delta tG^\circ(Ag^+, W \rightarrow S)\} / 100 \quad (2.15)$$

(Katritzky et al., 2004)

### 2.8.2 Penentuan Skala Polaritas Melalui Pengukuran Spektroskopi

Definisi spektroskopi dari polaritas pelarut telah diartikan sebagai sensitifitas senyawa pelarut standar dalam menyerap radiasi sinar UV, IR, ESR, dan spektrum NMR. Teori efek pelarut pada penyerapan spektrum mengasumsikan



*chromophore* yang terisolasi dan terlarut mengandung perbedaan identitas kimiawi dan menyatakan efek ini sebagai gangguan fisik pada keadaan molekul standar *chromophore*. Berdasarkan Reichardt (1994), kata solvatokromik digunakan untuk menjelaskan perubahan yang nyata pada posisi (terkadang intensitas) dari penyerapan pita UV/VIS, yang mengiringi perubahan polaritas media. Pembagian hipsokromik (biru), dengan peningkatan polaritas pelarut, biasa disebut sebagai solvatokromik negatif, sedangkan batokromik (merah) disebut sebagai solvatokromik positif. Pada teknik ini membutuhkan pewarna (*dye*) untuk melihat perubahan spektrum tersebut.

$E_T^{(30)}$  dan  $E_T^N$  didefinisikan sebagai energi molar transisi, dalam kcal/mol, untuk panjang gelombang transisi elektronik dari pewarna 2,6-difenil-4-(2,4,6-trifenilpiridino)fenolat (pewarna betain Dimroth-Reichardt) sebagai solusi pada pelarut dengan suhu 25 °C dan tekanan 0,1 Mpa. Harga  $E_T^{(30)}$  diperoleh secara eksperimen menentukan panjang gelombang dari penyerapan maksimum transisi ( $\lambda_{max}$ ) berdasarkan persamaan:

$$E_T^{(30)} / \text{kcal/mol} = 28591 / (\lambda_{max} / \text{nm}) \quad (2.16)$$

$E_T^N$  dianggap sebagai skala normal, yang diartikan pada persamaan 2.17, dimana tetrametilsilan (TMS) dan air dipilih sebagai kasus polaritas ekstrim.

$$E_T^N (\text{pelarut}) = [E_T(\text{pelarut}) - E_T(\text{TMS})] / [E_T(\text{air}) - E_T(\text{TMS})] \quad (2.17)$$

(Katritzky et al., 2004)

### 2.8.3 Penentuan Skala Polaritas Melalui Pendekatan Multiparameter

Katritzky et al., (2004) mencoba berbagai macam persamaan multiparameter menggunakan kombinasi linier dari parameter empiris pelarut yang sudah ada. Mereka berhasil mengkombinasikan nilai  $E_T$  dengan fungsi dielektrik konstan dan indeks refraksi. Dengan menggunakan  $E_T$  dan menggunakan fungsi Kirkwood  $(\epsilon_r - 1) / (2\epsilon_r + 1)$ , dua parameter persamaan yang dibuat memungkinkan variasi bebas dari dipol-dipol dan gaya ikatan hidrogen. Persamaan ini berdasarkan asumsi bahwa fungsi Kirkwood menyatakan interaksi dipol-dipol dan nilai  $E_T$



sangat sensitif pada interaksi dipolar tersebut dan interaksi antara terlarut dan pelarut donor ikatan hidrogen. Koppel dan Palm mendefinisikan empat parameter untuk mengklasifikasikan pelarut: polaritas (Y), kebolehpolaran (P), elektofilitas/keasaman (E) dan nukleofilitas/kebasaan (B).

$$Y = (\epsilon - 1)/(2\epsilon + 1) \quad (2.18)$$

$$P = (n^2 - 1)/(n^2 + 2) \quad (2.19)$$

$$E = E_T - 25,57 - 14,39Y - 9,08P \quad (2.20)$$

$$A = A_0 + yY + pP + eE + bB \quad (2.21)$$

Dimana n korelasi dari kontribusi pelarutan nonspesifik untuk efek pelarut pada  $\Delta\nu$  (spektra IR), nilai log (kelarutan), dsb. A adalah karakteristik sensitif pelarut pada proses (Katritzky et al., 2004).

## 2.9 Polimer

Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *poly-* yang berarti banyak, dan *-meros* berarti bagian atau unit yang tersusun secara berulang. Molekul-molekul tunggal penyusun polimer dikenal dengan istilah monomer, merupakan unit terkecil dalam polimer. Jika terdiri paling sedikit dua monomer dan memiliki berat molekul rendah disebut oligomer (Firdaus,-).

Polimer merupakan molekul besar yang dibangun dari pengulangan kesatuan kimia yang kecil dan sederhana (Billmeyer, 1984). Jika pengulangan kesatuan berulang tersebut lurus, maka molekul-molekul polimer digambarkan sebagai molekul rantai atau rantai polimer (Gambar 2.11a). Rantai polimer juga dapat bercabang (Gambar 2.11b) ataupun membentuk gabungan melalui sambung silang dan membentuk polimer sambung silang (Gambar 2.11c). Jika sambungan silang terjadi ke berbagai arah maka terbentuk polimer sambung silang tiga dimensi yang disebut polimer jaringan (Gambar 2.11d) (Cowd, 1991).





Gambar 2.11 a) rantai polimer lurus b) rantai polimer bercabang c) polimer sambung silang d) polimer jaringan tiga dimensi (Callister, 2006)

### 2.9.1 Tegangan Permukaan Padatan Polimer

Padatan memiliki keterbatasan pergerakan molekul, hal ini menyebabkan sulitnya mengukur besarnya tegangan permukaan secara langsung. Akan tetapi, beberapa pendekatan telah dilakukan baik eksperimen maupun teoritis. Beberapa diantaranya dengan pengukuran sudut kontak menggunakan cairan yang berbeda-beda, pengukuran gaya secara langsung, teknik solidifikasi muka, flotasi film, teknik sedimentasi, penetrasi kapiler kolom bubuk partikel, teori gradien, dan teori Lifshitz dari gaya Van der Waals. Diantara metode tersebut yang paling populer adalah melalui pendekatan pengukuran sudut kontak (Tavana dan Neumann, 2007). Peningkatan sudut kontak dari pengukuran sudut kontak dengan cairan yang berbeda pada padatan yang sama menunjukkan kurva yang halus, ketika diplotkan sebagai fungsi tegangan permukaan cair  $\gamma_{LV} \cos\theta$  dengan  $\gamma_{LV}$ . Ketika dilakukan penggantian padatan, besarnya  $\gamma_{SV}$  akan menyebabkan pergeseran kurva. Pola-pola tersebut menunjukkan bahwa  $\gamma_{LV} \cos\theta$  tergantung pada besarnya  $\gamma_{LV}$  dan  $\gamma_{SV}$ . Terjadinya penyimpangan tersebut menyebabkan ketidakpastian dalam penentuan tegangan permukaan padatan (Tavana dan Neumann, 2007). Berdasarkan ketidakpastian tersebut, pengukuran tegangan permukaan padatan dapat dilakukan dengan ekstrapolasi dari sejumlah pengamatan langsung, yang sering kali dengan



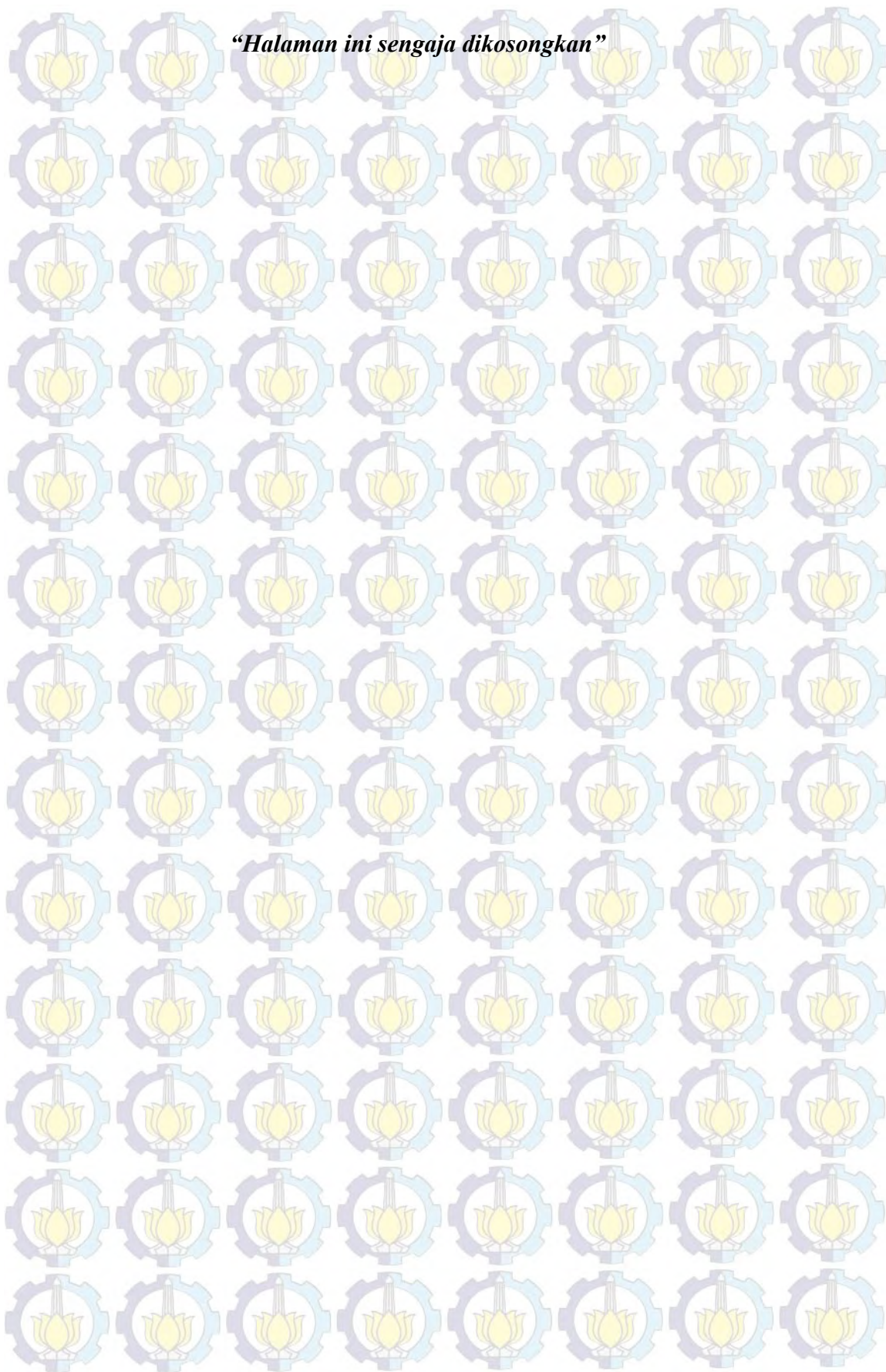
ketidakpastian yang besar. Pengukuran tersebut dapat menggunakan kombinasi dari 4 metode berikut:

1. Ekstrapolasi data tegangan permukaan lelehan polimer terhadap suhu ruangan. Hal ini sering dipertimbangkan pada metode yang mungkin untuk mengukur tegangan permukaan polimer.
2. Ekstrapolasi data tegangan permukaan dari deret homolog polimer cair dengan fungsi berat molekul. Hal ini diasumsikan bahwa tegangan permukaan akan meningkat secara asimtotik pada batasan nilai tertentu sebagaimana meningkatnya berat molekul.
3. Pengukuran sudut kontak antara padatan dan cairan yang berbeda, menggunakan penerapan persamaan yang menyatakan tegangan permukaan sebagai fungsi sudut kontak dan tegangan permukaan dari cairan.
4. Pengukuran “tegangan kritis keterbasahan permukaan” ( $\gamma_c$ ). Suatu cairan dengan tegangan permukaan kurang dari  $\gamma_c$  akan tersebar di atas permukaan padatan. Ini dapat diasumsikan bahwa  $\gamma = \gamma_c$  untuk estimasi tegangan permukaan dari padatan (Bicerano, 2002).

Interaksi molekuler tertentu pada padat-gas atau padat-cair menjelaskan minor penyimpangan sudut kontak. Interaksi tersebut berlangsung dengan cara berbeda-beda. Adsorpsi gas pada cairan uji kepada permukaan padatan yang tampaknya merupakan satu-satunya yang mempengaruhi tegangan antarmuka padat-gas ( $\gamma_{sv}$ ). Interaksi molekul yang terjadi pada antarmuka padat-cair lebih beragam dan rumit. Keselarasan paralel dari molekul cairan pada permukaan padatan, menyusun kembali molekul cairan pada antarmuka padat-cair, perubahan konfigurasi pada rantai polimer karena kontak dengan cairan uji tertentu dan interaksi intermolekuler antara molekul padatan dan cairan menyebabkan tegangan antarmuka padat-cair berbeda dari yang diprediksi oleh persamaan, yaitu  $\gamma_{sv}$  bukan merupakan fungsi yang tepat dari  $\gamma_{lv}$  dan  $\gamma_{sv}$  (Tavana dan Neumann, 2007).



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*





## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan polaritas beberapa cairan dengan data sudut kontak. Sudut kontak akan ditentukan melalui metode analisis tetesan dengan alat goniometer. Goniometer yang digunakan merupakan alat yang dibuat oleh Anggriawan (2015).

#### 3.1 Alat dan Bahan

Alat pengukuran sudut kontak yang digunakan adalah goniometer *dual channel* dan perangkat lunak pengolah gambar imageJ dengan *plugin Low-Bond Axisymmetric Drop Shape Analysis* (LB-ADSA), *micro syringe* Hamilton 25 $\mu$ L oven, *ultrasonic cleaner*, dan desikator. Bahan yang digunakan adalah air demineralta (air), *n*-heksana, aseton, etanol, propilen glikol, gliserol, cairan aseton-etanol dengan rasio 1:3, cairan aseton-etanol dengan rasio 3:1, cairan etanol-air dengan rasio 1:3, cairan etanol-air dengan rasio 3:1 yang memiliki rentang skala polaritas Reichardt ( $E_T^N$ ) 0 hingga 1, serta plat polimer yaitu, *polytetrafluoroethylene* (PTFE), *polyvinylchloride* (PVC) dan *polymethylmetaacrylate* (PMMA).

#### 3.2 Preparasi Plat

Plat polimer (PTFE, PVC, dan PMMA) terlebih dahulu dicuci dengan deterjen kemudian disonikasi selama 30 menit, kemudian dikeringkan dalam oven 45°C selama 15 menit. Plat polimer disimpan dalam desikator selama 6 jam untuk penggunaan selanjutnya.

#### 3.3 Kalibrasi Alat

Alat terlebih dahulu dikalibrasi, sebelum digunakan untuk menentukan sudut kontak. ASTM C 813-90 digunakan sebagai standar kalibrasi dan digunakan plat *polytetrafluoroethylene* (PTFE) dengan nilai sudut kontak berkisar antara 108° hingga 125°. Sampel air diambil sebanyak 25 $\mu$ L dengan *micro syringe* kemudian



di teteskan di atas plat PTFE pada penampang alat goniometer. Bentuk tetesan diamati dengan USB mikroskop yang terpasang pada sisi depan dan sisi atas goniometer. Bentuk tetesan yang tampak pada masing-masing kamera diambil gambarnya untuk analisis selanjutnya. Gambar yang diperoleh dari kamera sisi depan akan dianalisis menggunakan perangkat lunak imageJ dengan plugin LB-ADSA untuk ditentukan besar sudut kontak. Goniometer dinyatakan terkalibrasi dengan tepat jika besar sudut kontak yang diperoleh sesuai dengan ASTM C 813-90. Gambar dari kamera atas diolah dengan imageJ dan tab *analyze measure*, pada gambar yang diperoleh sebelumnya diletakkan penggaris untuk membantu kalibrasi diameter tetesan.

### 3.4 Pengukuran Sudut Kontak Pada Plat Polimer

Plat polimer PMMA yang telah dipreparasi, diletakkan pada penampang goniometer dan posisi plat disesuaikan dengan penampakan pada masing-masing kamera, selanjutnya cairan ditetaskan dengan *syringe* 25 $\mu$ L. Pada kamera sisi depan akan tampak lengkungan cairan, sedangkan dari kamera atas akan tampak bentuk tetesan cairan. Tetesan yang tampak pada masing-masing kamera akan diambil gambarnya dengan kamera dari goniometer setelah mencapai kesetimbangan (*equilibrium*). Gambar yang diperoleh dari kamera depan akan memperlihatkan lengkungan cairan, yang akan dihitung sudut kontak perpotongan cairan dengan plat. Gambar dari kamera atas akan memperlihatkan bentuk bulatan cairan, yang akan dihitung diameternya.

Gambar yang diperoleh dari kamera depan akan diolah dengan perangkat lunak imageJ, dan ditentukan sudut kontak dengan *plug-in drop analysis* LB-ADSA. Pada tampilan pemrosesan gambar menggunakan perangkat lunak tersebut, sudut kontak akan diperoleh setelah penepatan garis *contour* dan pemrosesan *gradient energy*. Setelah diperoleh sudut kontak tersebut, langkah-langkah diulang beberapa kali dengan cairan yang sama. Sudut kontak cairan ditentukan dari rata-rata pengukuran pada setiap perlakuan dan dari pengukuran standar deviasinya (ASTM D 5946 – 04). Gambar yang diperoleh dari kamera atas akan diolah dengan perangkat lunak imageJ dan ditentukan diameter dengan opsi *straight tools* dan *analyze measure*. Opsi *straight tools* digunakan untuk mengkalibrasi ukuran



penggaris komputer dengan ukuran sebenarnya yang disertakan pada pemotretan tetesan. Selanjutnya, penggunaan opsi *analyze measure* dipergunakan untuk memperoleh diameter tetesan. Langkah tersebut diulang  $\pm$  sepuluh kali (sesuai ASTM D 5946 – 04) dengan cairan yang sama, dan diameter tetesan cairan ditentukan dari rata-rata pengukuran pada setiap perlakuan. Keseluruhan langkah-langkah tersebut juga dilakukan untuk beberapa cairan lainnya. Data perolehan hasil akan ditulis dalam bentuk tabel yang menunjukkan besarnya sudut kontak yang diperoleh, diameter tetesan, serta skala polaritas Reichardt. Selanjutnya, langkah-langkah di atas dilakukan kembali dengan menggunakan plat polimer yang berbeda (PVC dan PTFE).

### **3.5 Penentuan Hubungan Sudut Kontak dan Skala Polaritas**

Penentuan polaritas cairan dilakukan melalui pengukuran sudut kontak cairan terhadap plat polimer dengan goniometer. Hasil pengukuran sudut kontak akan dicatat dan dibandingkan dengan skala polaritas Reichardt ( $E_r^N$ ). Data yang diperoleh akan dibuat aluran sudut kontak terhadap skala polaritas Reichardt. Dari data grafik akan dapat ditarik kesimpulan hubungan polaritas cairan dengan sudut kontak.

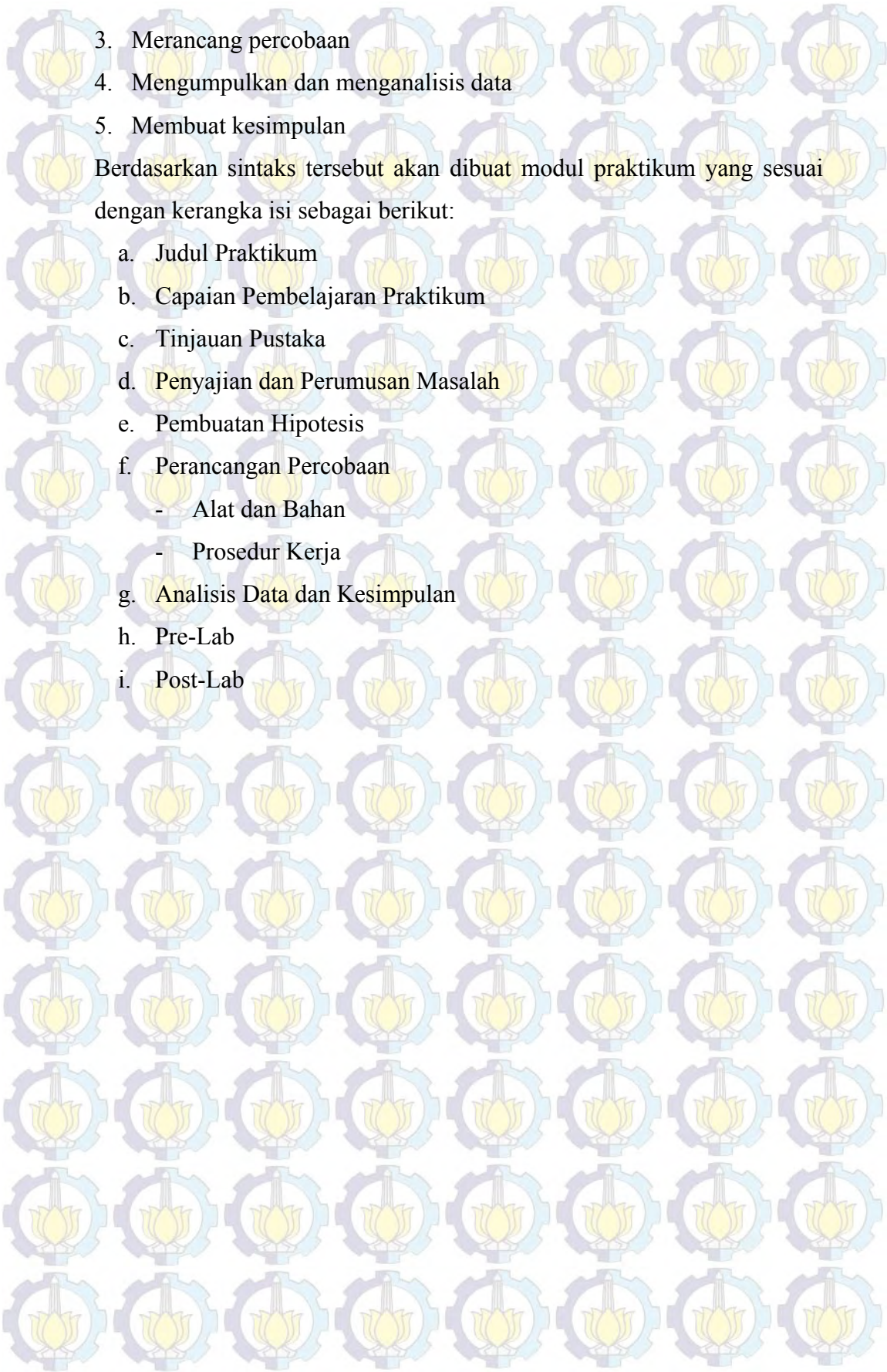
### **3.6 Penyusunan Modul Praktikum**

Penyusunan modul praktikum penentuan polaritas cairan melalui pengukuran sudut kontak diawali dari analisis kurikulum mengenai materi kimia fisika yang membahas tentang tegangan permukaan dan sudut kontak. Hasil analisis kurikulum dapat digunakan untuk menyesuaikan waktu tatap muka dengan waktu mahasiswa melakukan praktikum dan menyelaraskan tujuan praktikum dengan tujuan pembelajaran serta indikator pembelajaran materi tersebut. Modul praktikum selanjutnya disusun berdasarkan hasil penelitian sesuai dengan langkah-langkah yang dipakai dalam penelitian ini.

Modul praktikum yang disusun akan merujuk pada model pembelajaran inkuiri terbimbing dengan sintaks sebagai berikut:

1. Menyajikan masalah/pertanyaan
2. Membuat hipotesis



- 
3. Merancang percobaan
  4. Mengumpulkan dan menganalisis data
  5. Membuat kesimpulan

Berdasarkan sintaks tersebut akan dibuat modul praktikum yang sesuai dengan kerangka isi sebagai berikut:

- a. Judul Praktikum
- b. Capaian Pembelajaran Praktikum
- c. Tinjauan Pustaka
- d. Penyajian dan Perumusan Masalah
- e. Pembuatan Hipotesis
- f. Perancangan Percobaan
  - Alat dan Bahan
  - Prosedur Kerja
- g. Analisis Data dan Kesimpulan
- h. Pre-Lab
- i. Post-Lab



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

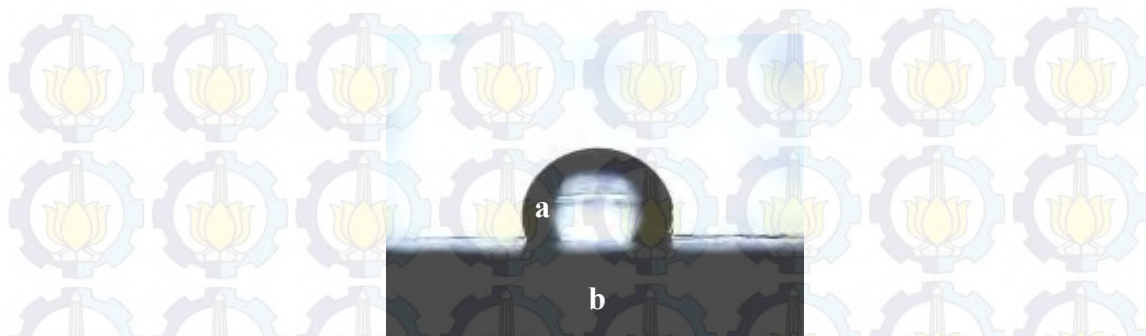
Alat utama yang digunakan pada eksperimen ini adalah goniometer *dual channel*. Prinsip eksperimen yang dilakukan adalah pengukuran sudut kontak cairan uji (air, *n*-heksana, aseton, etanol, propilen glikol, gliserol, cairan aseton-etanol dengan rasio 1:3, cairan aseton-etanol dengan rasio 3:1, cairan etanol-air dengan rasio 1:3, cairan etanol-air dengan rasio 3:1), kemudian dibandingkan dengan skala polaritas Reichardt ( $E_T^N$ ). Eksperimen yang dilakukan untuk mempelajari polaritas cairan uji dengan menggunakan alat pengukur sudut kontak menunjukkan beberapa hasil.

#### 4.1 Kalibrasi Alat

Goniometer merupakan salah satu alat yang telah banyak digunakan dan dikenal para ilmuwan kimia. Kegunaan goniometer adalah untuk mengukur sudut kontak antara cairan dan permukaan padatan melalui visualisasi gambar tetesan cairan di atas permukaan padatan. Proses kalibrasi alat tersebut dilakukan berdasarkan standar dari ASTM C 813-90 dengan menggunakan plat polimer PTFE. Menurut standar ASTM tersebut, alat dinyatakan terkalibrasi apabila hasil sudut kontak yang diperoleh sebesar  $108^\circ$  hingga  $125^\circ$ .

Alat pengukur sudut kontak (Goniometer *dual channel*) yang digunakan adalah alat yang dikembangkan sebelumnya oleh Anggriawan (2015). Alat ini terdiri dari papan akrilik yang memiliki papan penampang untuk plat analit, kamera samping dan atas sehingga disebut sebagai *dual channel*, serta lampu LED sebagai *backlight*. Cairan yang sudah ditetaskan di permukaan padatan diambil gambar/fotonya dengan kamera pada goniometer. Pemotretan ini dilakukan untuk pengukuran sudut kontak cairan yang diuji. Hasil foto cairan uji yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 4.8. Salah satu foto yang diperoleh dari hasil kalibrasi yang dilakukan dengan cairan air pada plat PTFE ditampilkan pada Gambar 4.1.





Gambar 4.1 Tetesan cairan uji pada plat polimer a) Aqua DM b) plat polimer

Kalibrasi alat ini dilakukan dengan menguji besarnya sudut kontak antara air dengan plat polimer PTFE. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran sudut kontak dengan alat goniometer. Proses kalibrasi dilakukan dengan pengulangan sebanyak tiga kali.

Tabel 4.1 Hasil kalibrasi pengukuran sudut kontak antara air dengan plat polimer PTFE

| Jenis Cairan           | Aqua DM   |           |           | Rata-rata |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | Tetesan 1 | Tetesan 2 | Tetesan 3 |           |
| Besar Sudut Kontak (°) | 108,244   | 109,056   | 110,121   | 109,140   |

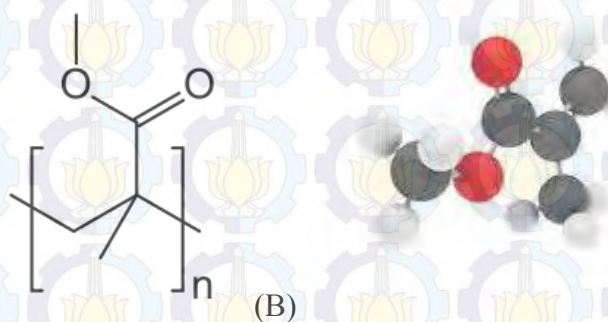
Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa rata-rata pengukuran sudut kontak dari tiga kali pengulangan menunjukkan sudut kontak ( $\theta$ ) air sebesar  $109,140^\circ$ . Sudut kontak yang terbentuk sesuai dengan besaran sudut kontak antara Aqua DM dengan polimer (PTFE) berdasarkan ASTM C 813-90, yaitu berkisar antara  $108^\circ$  hingga  $125^\circ$ . Hasil kalibrasi alat pengukur sudut kontak menunjukkan bahwa alat dapat digunakan dengan baik.

## 4.2 Pengukuran Sudut Kontak Pada Plat Polimer

Pengukuran sudut kontak sepuluh cairan uji telah dilakukan dengan goniometer *dual channel*. Pada eksperimen ini proses pengukuran sudut kontak dilakukan dengan replikasi sebanyak 10 kali dan diperoleh data sesuai pada Tabel 4.2. Nilai sudut kontak yang diperoleh merupakan rata-rata perolehan sudut kontak



tersebut. Pengukuran dilakukan melalui penetesan sepuluh cairan uji yang berbeda di atas plat *polymethylmetaacrylate* (PMMA). Plat PMMA digolongkan ke dalam senyawa yang bersifat semipolar dengan struktur rantai panjang yang terdiri dari ikatan antara atom karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O).



Gambar 4.2 Struktur molekul PMMA (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D

Plat PMMA memiliki beberapa gugus fungsional, yaitu  $\text{—CO}$ ,  $\text{—OCH}_3$ , dan  $\text{—CH}_3$  seperti struktur yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Gugus  $\text{—CO}$  dan  $\text{—OCH}_3$  dapat menjadi donor-elektron jika mengalami kontak dengan air atau cairan yang memiliki gugus aktif hidrogen. Hidrogen dalam gugus  $\text{—CH}_3$  memiliki kecenderungan yang lemah sebagai akseptor-elektron, sehingga ikatan hidrogen yang terbentuk juga lemah (Szymczyk et al., 2012). Sifat polar yang dimiliki plat PMMA akan memberikan pengaruh pada bentuk cairan yang ditetaskan.

Cairan yang digunakan memiliki polaritas yang beragam, dengan skala polaritas 0-1. Kesepuluh cairan yang ditetaskan pada plat PMMA menunjukkan hasil sudut kontak rata-rata yang berbeda-beda antara  $0^\circ$  sampai  $66,697^\circ$ . Hasil pengukuran sudut kontak pada tiap cairan yang beragam sesuai kenaikan skala polaritas Reichardt terdapat dalam Tabel 4.3.



Tabel 4.2 Sudut kontak cairan uji dengan 10 kali pengulangan pada plat PMMA

| Sudut<br>Kontak<br>(°) | Cairan            |              |                            |                            |              |                      |                    |                      |               |               |
|------------------------|-------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|--------------------|----------------------|---------------|---------------|
|                        | <i>n</i> -Heksana | Aseton       | Aseton-<br>Etanol<br>(3:1) | Aseton-<br>Etanol<br>(1:3) | Etanol       | Etanol-<br>Air (3:1) | Propilen<br>glikol | Etanol-<br>Air (1:3) | Gliserol      | Air           |
| 1                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 9,785                | 23,704             | 45,728               | 55,497        | 60,490        |
| 2                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 12,754               | 24,154             | 43,057               | 56,169        | 69,797        |
| 3                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 11,732               | 29,705             | 46,268               | 56,933        | 67,211        |
| 4                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 9,095                | 28,805             | 39,607               | 53,827        | 69,682        |
| 5                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 6,676                | 30,455             | 40,027               | 55,269        | 67,304        |
| 6                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 9,037                | 27,605             | 42,307               | 54,729        | 64,481        |
| 7                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 13,311               | 27,905             | 43,545               | 54,369        | 67,631        |
| 8                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 10,082               | 29,855             | 42,277               | 54,189        | 63,851        |
| 9                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 10,771               | 28,205             | 44,681               | 57,070        | 68,891        |
| 10                     | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 10,083               | 28,805             | 43,747               | 58,330        | 67,631        |
| <b>Rata-<br/>rata</b>  | <b>0,000</b>      | <b>0,000</b> | <b>0,000</b>               | <b>0,000</b>               | <b>0,000</b> | <b>10,333</b>        | <b>27,920</b>      | <b>43,124</b>        | <b>55,638</b> | <b>66,697</b> |

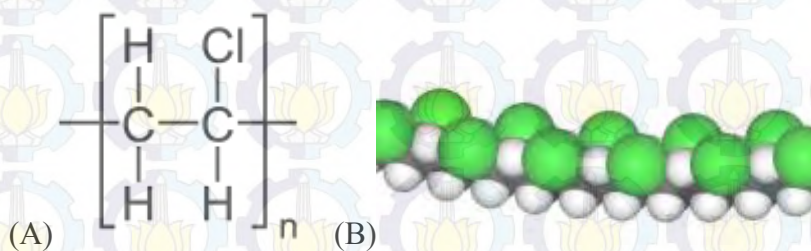


Tabel 4.3 Sudut kontak cairan uji dengan plat PMMA dibandingkan dengan skala polaritasnya

| Cairan              | Sudut kontak (°) | Skala Polaritas Reichardt ( $E^T_N$ ) |
|---------------------|------------------|---------------------------------------|
| <i>n</i> -Heksana   | 0,000            | 0,09 (non-polar)                      |
| Aseton              | 0,000            | 0,355                                 |
| Aseton-Etanol (3:1) | 0,000            | 0,400                                 |
| Aseton-Etanol (1:3) | 0,000            | 0,5                                   |
| Etanol              | 0,000            | 0,654                                 |
| Etanol-Air (3:1)    | 10,333           | 0,700                                 |
| Propilen glikol     | 27,920           | 0,722                                 |
| Etanol-Air (1:3)    | 43,124           | 0,800                                 |
| Gliserol            | 55,638           | 0,812                                 |
| Air                 | 66,697           | 1,000 (polar)                         |

Data dalam Tabel 4.3 menunjukkan bahwa hasil pengukuran sudut kontak pada cairan dengan skala polaritas 0,09 (*n*-heksana) hingga 0,65 (etanol) tidak membentuk sudut kontak ( $0^\circ$ ), sedangkan cairan dengan skala polaritas 0,7 (etanol-air) hingga skala polaritas 1 (air) membentuk sudut kontak. Hal ini disebabkan adanya gaya interaksi molekuler pada tiap-tiap cairan dengan plat PMMA.

Plat yang digunakan selanjutnya adalah *Polivinyllchloride* (PVC). Pengukuran yang dilakukan melalui pentesan sepuluh cairan yang berbeda di atas plat PVC. Perolehan hasil tetesan cairan uji dengan 10 kali replikasi ditunjukkan pada Tabel 4.5. Plat PVC digolongkan ke dalam senyawa yang bersifat semipolar dengan struktur rantai panjang yang terdiri dari ikatan antara atom karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan fluorin (F) seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Struktur molekul PVC (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D



Dari Gambar 4.3 menunjukkan bahwa plat polimer memiliki polaritas karena memiliki atom klorin (Cl) yang cukup banyak mengandung elektron dan membentuk muatan parsial negatif. Sifat polar yang dimiliki plat PVC akan memberikan pengaruh pada bentuk cairan yang ditetaskan. Cairan yang digunakan memiliki polaritas yang beragam, dengan skala polaritas 0-1.

Kesepuluh cairan yang ditetaskan pada plat PVC menunjukkan hasil yang hampir sama dengan hasil pada plat PMMA. Sudut kontak terbentuk pada cairan dengan skala polaritas 0,65 ke atas, sedangkan cairan dengan skala polaritas di bawah 0,65 tidak memiliki sudut kontak ( $0^\circ$ ). Data pada Tabel 4.5 akan menunjukkan hasil pengukuran sudut kontak pada tiap cairan.

Tabel 4.4 Sudut kontak cairan uji dengan plat PVC dibandingkan dengan skala polaritasnya

| Cairan              | Sudut kontak ( $^\circ$ ) | Skala Polaritas Reichardt ( $E^T_N$ ) |
|---------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| <i>n</i> -Heksana   | 0,000                     | 0,09 (non-polar)                      |
| Aseton              | 0,000                     | 0,355                                 |
| Aseton-Etanol (3:1) | 0,000                     | 0,400                                 |
| Aseton-Etanol (1:3) | 0,000                     | 0,500                                 |
| Etanol              | 0,000                     | 0,654                                 |
| Etanol-Air (3:1)    | 19,306                    | 0,700                                 |
| Propilen glikol     | 37,176                    | 0,722                                 |
| Etanol-Air (1:3)    | 48,182                    | 0,800                                 |
| Gliserol            | 60,414                    | 0,812                                 |
| Air                 | 71,362                    | 1,000 (polar)                         |



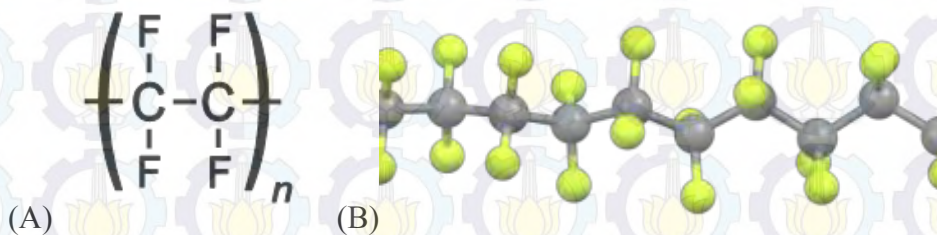
Tabel 4.5 Sudut kontak cairan uji dengan 10 kali pengulangan pada plat PVC

| Sudut<br>Kontak<br>(°) | Cairan            |              |                            |                            |              |                         |                    |                         |               |               |
|------------------------|-------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|---------------|---------------|
|                        | <i>n</i> -Heksana | Aseton       | Aseton-<br>Etanol<br>(3:1) | Aseton-<br>Etanol<br>(1:3) | Etanol       | Etanol-<br>Air<br>(3:1) | Propilen<br>glikol | Etanol-<br>Air<br>(1:3) | Gliserol      | Air           |
| 1                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 24,154                  | 38,106             | 42,561                  | 60,070        | 71,532        |
| 2                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 17,233                  | 40,178             | 51,383                  | 59,079        | 71,018        |
| 3                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 22,654                  | 32,215             | 50,833                  | 62,467        | 70,764        |
| 4                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 22,654                  | 34,614             | 52,391                  | 66,055        | 71,532        |
| 5                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 15,153                  | 34,619             | 51,129                  | 60,700        | 72,576        |
| 6                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 15,003                  | 40,142             | 46,628                  | 59,440        | 72,732        |
| 7                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 18,303                  | 35,424             | 47,337                  | 59,440        | 70,572        |
| 8                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 20,853                  | 39,550             | 46,936                  | 60,637        | 70,992        |
| 9                      | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 21,004                  | 38,917             | 48,15                   | 59,368        | 71,746        |
| 10                     | 0,000             | 0,000        | 0,000                      | 0,000                      | 0,000        | 16,053                  | 38,931             | 44,467                  | 56,886        | 70,152        |
| <b>Rata-<br/>rata</b>  | <b>0,000</b>      | <b>0,000</b> | <b>0,000</b>               | <b>0,000</b>               | <b>0,000</b> | <b>19,306</b>           | <b>37,177</b>      | <b>48,182</b>           | <b>60,414</b> | <b>71,362</b> |



Data dalam Tabel 4.4 menunjukkan pengukuran sudut kontak cairan dengan rentang skala polaritas 0,09 hingga 0,654 memberikan hasil yang sama seperti pengukuran pada plat PMMA, yaitu sebesar  $0^\circ$ . Sudut kontak baru terbentuk pada cairan dengan skala polaritas 0,700, yaitu sebesar  $19,306^\circ$ . Sudut kontak terbesar dihasilkan cairan dengan skala polaritas 1 (air), yaitu sebesar  $71,362^\circ$ . Perbedaan perolehan besar sudut kontak ini disebabkan adanya gaya interaksi molekuler pada tiap-tiap cairan dengan plat PVC.

Plat polimer lain yang digunakan adalah *Polytetrafluoroethylene* (PTFE). Pengukuran dilakukan melalui penetesan sepuluh cairan yang berbeda di atas plat PTFE. Perolehan hasil tetesan cairan uji dengan 10 kali replikasi ditunjukkan pada Tabel 4.6. Plat PTFE digolongkan ke dalam senyawa yang bersifat non-polar dengan struktur rantai panjang yang terdiri dari ikatan antara atom karbon (C) dengan fluorin (F) seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Struktur molekul PTFE (A) struktur 2-D (B) struktur 3-D

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa struktur PTFE memiliki rantai panjang dengan atom fluor di kedua sisinya yang membuatnya penuh akan muatan negatif, sehingga dapat diketahui bahwa sifat plat ini non-polar. Sifat non-polar tersebut akan memberikan pengaruh ketika diberi tetesan cairan yang bersifat polar dan non-polar. Cairan yang digunakan memiliki skala polaritas 0 – 1.



Tabel 4.6 Sudut kontak cairan uji dengan 10 kali pengulangan pada plat PTFE

| Sudut<br>Kontak<br>(°) | Cairan            |               |                            |                            |               |                         |                    |                         |                |                |
|------------------------|-------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|----------------|----------------|
|                        | <i>n</i> -Heksana | Aseton        | Aseton-<br>Etanol<br>(3:1) | Aseton-<br>Etanol<br>(1:3) | Etanol        | Etanol-<br>Air<br>(3:1) | Propilen<br>glikol | Etanol-<br>Air<br>(1:3) | Gliserol       | Air            |
| 1                      | 0,000             | 13,952        | 15,313                     | 22,204                     | 31,287        | 45,641                  | 65,333             | 81,870                  | 100,103        | 124,494        |
| 2                      | 0,000             | 13,652        | 15,565                     | 14,612                     | 26,254        | 43,601                  | 72,434             | 83,984                  | 98,697         | 125,151        |
| 3                      | 0,000             | 13,502        | 14,702                     | 14,702                     | 28,505        | 40,960                  | 62,338             | 79,301                  | 103,222        | 118,255        |
| 4                      | 0,000             | 12,002        | 14,550                     | 18,923                     | 27,905        | 40,274                  | 69,517             | 75,851                  | 102,044        | 116,550        |
| 5                      | 0,000             | 12,302        | 15,458                     | 15,153                     | 29,255        | 42,062                  | 68,075             | 75,252                  | 99,692         | 124,099        |
| 6                      | 0,000             | 13,952        | 16,698                     | 15,228                     | 30,155        | 40,842                  | 66,286             | 76,165                  | 102,203        | 125,788        |
| 7                      | 0,000             | 14,852        | 16,953                     | 16,61                      | 29,994        | 45,728                  | 72,569             | 81,721                  | 100,911        | 112,844        |
| 8                      | 0,000             | 14,402        | 14,835                     | 17,853                     | 32,705        | 44,287                  | 67,236             | 72,596                  | 98,571         | 113,425        |
| 9                      | 0,000             | 13,502        | 13,817                     | 16,803                     | 29,784        | 43,747                  | 64,864             | 84,473                  | 99,913         | 112,594        |
| 10                     | 0,000             | 13,052        | 14,254                     | 15,453                     | 34,202        | 41,567                  | 66,297             | 75,905                  | 102,742        | 123,705        |
| <b>Rata-<br/>rata</b>  | <b>0,000</b>      | <b>13,517</b> | <b>14,774</b>              | <b>16,754</b>              | <b>30,005</b> | <b>42,871</b>           | <b>67,495</b>      | <b>78,712</b>           | <b>100,810</b> | <b>119,691</b> |



Dari Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa hasil rata-rata pengukuran sudut kontak sepuluh cairan sangat bervariasi. Kesepuluh cairan tersebut memberikan hasil sudut kontak yang bervariasi seiring dengan peningkatan skala polaritasnya. Data pada Tabel 4.7 menunjukkan variasi tersebut.

Tabel 4.7 Sudut kontak cairan uji dengan plat PTFE dibandingkan dengan skala polaritasnya

| Cairan              | Sudut kontak (°) | Skala Polaritas Reichardt ( $E^T_N$ ) |
|---------------------|------------------|---------------------------------------|
| <i>n</i> -Heksana   | 0,000            | 0,09 (non-polar)                      |
| Aseton              | 13,517           | 0,355                                 |
| Aseton-Etanol (3:1) | 14,774           | 0,400                                 |
| Aseton-Etanol (1:3) | 16,754           | 0,5                                   |
| Etanol              | 30,005           | 0,654                                 |
| Etanol-Air (3:1)    | 42,871           | 0,700                                 |
| Propilen glikol     | 67,495           | 0,722                                 |
| Etanol-Air (1:3)    | 78,712           | 0,800                                 |
| Gliserol            | 100,810          | 0,812                                 |
| Air                 | 119,691          | 1,000 (polar)                         |

Data dalam Tabel 4.7 menunjukkan bahwa perbedaan besar sudut kontak cukup jelas dibandingkan pada plat PMMA dan PVC. Pada plat PTFE sudut kontak terbentuk pada hampir semua cairan uji kecuali *n*-heksana. Sudut kontak mulai terbentuk pada cairan dengan skala polaritas 0,355 (aseton), yaitu 13,517°. Perolehan sudut kontak bervariasi dengan perolehan sudut terbesar yaitu 119,691°. Tabel 4.7 juga memperlihatkan bahwa besar skala polaritas cairan berpengaruh pada besar sudut kontak.



### 4.3 Pengukuran Sudut Kontak Cairan

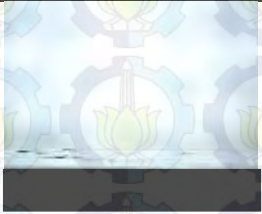











Sudut kontak cairan merupakan sudut antara dua garis, dimana garis pertama adalah garis batas antara udara dan zat cair yang ditetaskan dan garis kedua merupakan batas yang terbentuk antara zat cair dan zat padat yang ditetesi. Sudut ini dapat terbentuk apabila terdapat beberapa interaksi antara fasa cair dan padat. Menurut Lamour et al. (2010), tetesan cairan murni di atas permukaan padatan dapat menunjukkan gaya adhesi antara cairan dan permukaan padatan yang mengakibatkan penyebaran cairan (pembasahan) dan gaya kohesi antar molekul cairan yang meniadakan penyebaran cairan. Pada cairan yang bersifat polar akan membentuk sudut kontak apabila ditetaskan di atas padatan yang bersifat non-polar. Apabila cairan polar ditetaskan di atas plat yang bersifat polar, maka sudut kontak tidak akan terbentuk. Sudut kontak tersebut dapat terjadi karena adanya gaya adhesi antara padatan dengan cairan dan gaya kohesi antar molekul cairan. Semakin kecil sudut kontak yang diperoleh, maka gaya adhesi semakin besar. Semakin besar sudut kontak yang diperoleh, maka gaya kohesi semakin besar (Fritzsche and Peuker, 2015).

Pada penelitian ini digunakan cairan yang memiliki skala polaritas berbeda-beda, dari skala 0,09 (non-polar) hingga skala 1 (polar). Cairan uji yang digunakan adalah: *n*-heksana, aseton, aseton-etanol (1:3), aseton-etanol (3:1), etanol, etanol-air (1:3), etanol-air (3:1), propilen glikol, gliserol, dan air. Cairan uji tersebut ditetaskan di atas padatan yang memiliki polaritas yang berbeda, untuk mengetahui sudut kontak yang terbentuk. Padatan yang dipilih adalah polimer dengan polaritas tertentu, yaitu *Polymetaachrylate* (PMMA), *Polyvinylchloride* (PVC), dan *Polytetrafluoroethylene* (PTFE).













Masing-masing cairan telah diuji sebanyak 10 kali replikasi dan ditetaskan di atas tiga plat polimer, PMMA, PVC dan PTFE. Hasil pengukuran sudut kontak dan gambar pemotretan tersaji dalam Tabel 4.8.









Tabel 4.8 Foto tampak samping sampel cairan uji di atas plat polimer

| No | Jenis Cairan                             | Polimer                                                                             |                                                                                      |                                                                                       |
|----|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                          | PMMA                                                                                | PVC                                                                                  | PTFE                                                                                  |
| 1  | <i>n</i> -Heksana                        |    |    |    |
|    | Sudut Kontak                             | 0°                                                                                  | 0°                                                                                   | 0°                                                                                    |
| 2  | Aseton                                   |    |    |    |
|    | Sudut Kontak                             | 0°                                                                                  | 0°                                                                                   | 13,517°                                                                               |
| 3  | Aseton-<br>etanol<br>dengan<br>rasio 3:1 |  |  |  |
|    | Sudut Kontak                             | 0°                                                                                  | 0°                                                                                   | 14,774°                                                                               |
| 4  | Aseton-<br>etanol<br>dengan<br>rasio 1:3 |  |  |  |
|    | Sudut Kontak                             | 0°                                                                                  | 0°                                                                                   | 16,754°                                                                               |

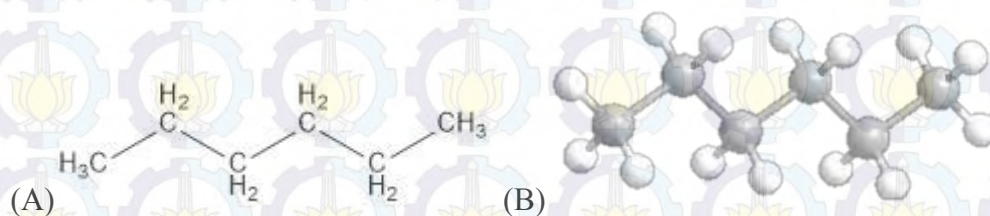


| No | Jenis Cairan                | Polimer                                                                             |                                                                                      |                                                                                       |
|----|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                             | PMMA                                                                                | PVC                                                                                  | PTFE                                                                                  |
| 5  | Etanol                      |    |    |    |
|    | Sudut Kontak                | 0°                                                                                  | 0°                                                                                   | 30,005°                                                                               |
| 6  | Etanol-air dengan rasio 3:1 |    |    |    |
|    | Sudut Kontak                | 10,333°                                                                             | 19,306°                                                                              | 42,871°                                                                               |
| 7  | Propilen glikol             |  |  |  |
|    | Sudut Kontak                | 27,920°                                                                             | 37,176°                                                                              | 67,495°                                                                               |
| 8  | Etanol-air dengan rasio 1:3 |  |  |  |
|    | Sudut Kontak                | 43,124°                                                                             | 48,182°                                                                              | 78,812°                                                                               |



| No | Jenis Cairan | Polimer                                                                            |                                                                                     |                                                                                      |
|----|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |              | PMMA                                                                               | PVC                                                                                 | PTFE                                                                                 |
| 9  | Gliserol     |   |   |   |
|    | Sudut Kontak | 55,638°                                                                            | 60,414°                                                                             | 100,810°                                                                             |
| 10 | Air          |  |  |  |
|    | Sudut Kontak | 66,697°                                                                            | 71,362°                                                                             | 119,691°                                                                             |

Gambar nomor 1 pada Tabel 4.8 merupakan hasil pemotretan *n*-heksana setelah ditetaskan di atas plat PMMA, PVC, dan PTFE. Gambar tersebut menunjukkan sudut kontak sebesar 0°. *n*-Heksana merupakan senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom karbon (C) sebanyak 6 dan dikelilingi oleh atom hidrogen (H) sebanyak 14 (Gambar 4.5). *n*-Heksana memiliki skala polaritas Reichardt sebesar 0,09.

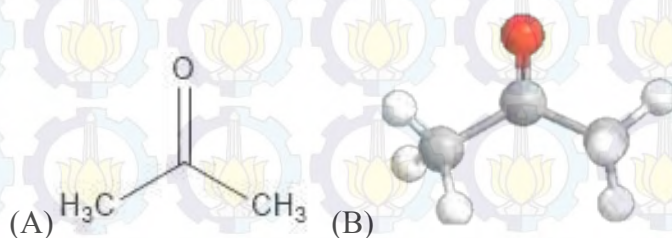


Gambar 4.5 Struktur senyawa N-heksana (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D



Momen dipol *n*-heksana adalah 0 D, dengan nilai tersebut diketahui bahwa molekul *n*-heksana memiliki ikatan non-polar. Ketika *n*-heksana ditetaskan di atas plat polimer, cairan langsung menyebar (*spreading*) dan membasahi permukaan plat PMMA, PVC, dan PTFE (Gambar nomor 1 Tabel 4.8). Pengambilan gambar tetesan dilakukan setelah cairan mengalami kesetimbangan dinamik selama  $\pm 30$  detik setelah penetesan, tetapi untuk *n*-heksana pengambilan gambar tetesan dilakukan dalam waktu maksimal 10 detik setelah penetesan. Hal ini dilakukan karena *n*-heksana bersifat mudah menguap (*volatile*) pada suhu ruang. Hasil pemotretan gambar menunjukkan cairan uji menyebar dan membasahi permukaan plat, sehingga tidak tampak sudut kontak antara cairan uji dengan plat. Hasil tersebut menyebabkan pemrosesan gambar menghasilkan sudut kontak sebesar  $0^\circ$ . Besar sudut kontak yang diperoleh disebabkan oleh gaya adhesi antara molekul cairan dan padatan sangat kuat dibanding gaya kohesi antar molekul *n*-heksana. Gaya adhesi ini juga dipengaruhi oleh banyaknya atom hidrogen yang mengelilingi atom karbon, sehingga senyawa tersebut cenderung bermuatan parsial positif. Muatan parsial positif pada senyawa menyebabkan cairan memiliki kecenderungan untuk menyebar keseluruhan permukaan plat yang memiliki muatan parsial negatif, sehingga sudut kontak tidak dapat dihitung.

Cairan lainnya pada Tabel 4.8, yaitu aseton merupakan senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom karbon (C) sebanyak 3 dan dikelilingi 6 atom hidrogen (H) serta satu gugus keton (C=O) seperti ditunjukkan Gambar 4.6. Aseton memiliki skala polaritas Reichardt adalah 0,355. Sudut kontak yang dihasilkan setelah ditetaskan di atas plat PMMA dan PVC adalah sebesar  $0^\circ$  sedangkan di atas plat PTFE sudut kontak yang terbentuk sebesar  $13,517^\circ$ .



Gambar 4.6 Struktur molekul Aseton (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D



Aseton memiliki momen dipol sebesar 2,9 D, sehingga molekul aseton memiliki ikatan yang bersifat polar. Ketika aseton diteteskan di atas plat PMMA dan PVC cairan aseton langsung menyebar dan membasahi permukaan plat dan selang beberapa detik cairan menguap. Seperti halnya *n*-heksana, gambar tetesan aseton juga diambil setelah waktu 10 detik. Hasil pemotretan gambar tetesan menunjukkan bahwa tetesan aseton tidak membentuk sudut kontak yang tampak dengan plat polimer (Gambar nomor 2 Tabel 4.8), sehingga hasil pemrosesan gambar menunjukkan sudut kontak yang diperoleh sebesar  $0^\circ$ . Hasil tersebut diperoleh karena adanya gaya interaksi molekul pada aseton yaitu gaya adhesi antara cairan dengan plat padatan. Gaya adhesi antara aseton dan plat polimer (PMMA dan PVC) lebih besar dibanding gaya kohesi antar molekul aseton, sehingga cairan menyebar di atas permukaan plat.

Berbeda dengan hasil penetesan aseton pada plat PMMA dan PVC, pada gambar nomor 2 Tabel 4.8 terdapat hasil pemotretan tetesan aseton di atas plat PTFE yang menghasilkan sudut kontak sebesar  $13,517^\circ$ , sedangkan di atas plat PMMA dan PVC tidak membentuk sudut kontak ( $0^\circ$ ). Besar sudut kontak tersebut disebabkan oleh gaya kohesi antar molekul aseton lebih besar dibandingkan gaya adhesi aseton dengan plat PTFE. Namun, gaya adhesi antara aseton dengan plat PTFE masih berperan sehingga menyebabkan cairan tampak sedikit menyebar dan sudut kontak yang diperoleh belum cukup besar.

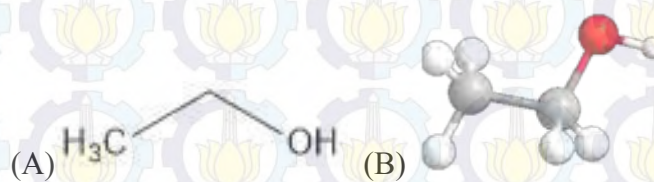
Cairan uji aseton-etanol rasio 3:1 dan 1:3 juga menunjukkan hasil yang sama ketika diteteskan di atas plat polimer PMMA dan PVC. Masing-masing menghasilkan sudut kontak sebesar  $0^\circ$ . Besar sudut ini diperoleh dari pemrosesan gambar tetesan cairan, yang diperoleh 10 detik setelah penetesan. Gambar tetesan memperlihatkan bahwa cairan menyebar dan membasahi permukaan plat, sehingga tidak dapat diukur sudut kontak. Penyebaran cairan di atas permukaan plat masih dipengaruhi oleh gaya adhesi yang cukup besar antara molekul cairan dengan plat polimer dibanding dengan gaya kohesi antar molekul cairan.

Pada plat PTFE cairan aseton-etanol rasio 3:1 dan 1:3 menunjukkan terbentuknya sudut kontak, pada penetesan aseton-etanol rasio 3:1 hasil tetesan membentuk sudut kontak sebesar  $14,774^\circ$ , sedangkan pada penetesan aseton-etanol rasio 1:3 membentuk sudut kontak sebesar  $16,754^\circ$ . Perolehan sudut kontak pada



plat PTFE tampak terjadi peningkatan besar sudut kontak dari tetesan cairan uji. Besar sudut kontak yang terbentuk antara cairan uji dengan plat PTFE disebabkan oleh gaya kohesi antar molekul lebih besar dibanding gaya adhesi cairan dengan plat polimer. Peningkatan sudut kontak antara cairan aseton-etanol rasio 3:1 dan 1:3 menunjukkan bahwa gaya kohesi antar molekul semakin kuat. Peningkatan gaya kohesi ini dapat dilihat dari rasio etanol yang semakin bertambah. Penambahan rasio etanol menyebabkan polaritas cairan juga bertambah.

Cairan uji Etanol merupakan hidrokarbon yang memiliki 2 atom karbon (C), 5 hidrogen (H) dan satu gugus hidroksil ( $\text{-OH}$ ) seperti pada Gambar 4.7. Etanol memiliki skala polaritas Reichardt 0,635. Setelah cairan ini ditetaskan pada plat PMMA dan PVC pengukuran sudut kontak menunjukkan nilai sudut kontak sebesar  $0^\circ$ .



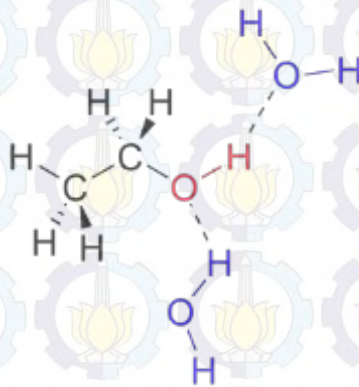
Gambar 4.7 Struktur molekul Etanol (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D

Perolehan sudut kontak antara dengan plat PMMA dan PVC didapat dari pemrosesan gambar tetesan. Pada gambar tetesan tampak etanol tersebar secara merata di atas permukaan plat, sehingga tidak memungkinkan dilakukan penghitungan sudut kontak. Peristiwa ini disebabkan oleh gaya adhesi etanol dengan masing-masing plat polimer masih sangat kuat, dibandingkan gaya kohesi antar molekul etanol.

Pada penetesan etanol di atas plat PTFE diperoleh sudut kontak sebesar  $30,005^\circ$ . Besar sudut kontak ini disebabkan oleh gaya kohesi antar molekul etanol lebih besar dibanding gaya adhesi etanol dengan plat. Jika dibandingkan besar sudut kontak cairan etanol dengan aseton-etanol, terdapat peningkatan sudut kontak yang cukup signifikan  $\pm 15^\circ$ . Peningkatan ini disebabkan pada etanol terdapat gugus  $\text{-OH}$  yang menimbulkan polaritas etanol cukup besar dibanding aseton-etanol. Polaritas tersebut mengakibatkan gaya kohesi antar molekul etanol semakin besar.



Pada Tabel 4.8 gambar tetesan antara etanol-air dengan rasio 3:1 memberikan nilai sudut kontak sebesar  $10,333^\circ$ , ketika ditetaskan pada plat PMMA. Pada plat PVC diperoleh sudut kontak sebesar  $19,306^\circ$ . Sudut kontak baru mulai dapat terlihat pada kedua plat setelah ditetesi cairan etanol-air rasio 3:1. Perolehan sudut kontak ini disebabkan oleh ditambahkannya air pada etanol, yang memiliki gugus  $-OH$ . Gugus  $-OH$  pada air menambah polaritas cairan pada molekul cairan etanol-air rasio 3:1 (Gambar 4.8). Keberadaan gugus  $-OH$  dapat meningkatkan gaya kohesi antar molekul cairan, sehingga lebih besar dibanding gaya adhesi dengan plat. Besar gaya kohesi ini menyebabkan cairan dapat membentuk sudut kontak. Namun, gaya adhesi masih mempengaruhi perolehan sudut kontak sehingga sudut kontak yang diperoleh belum begitu besar.



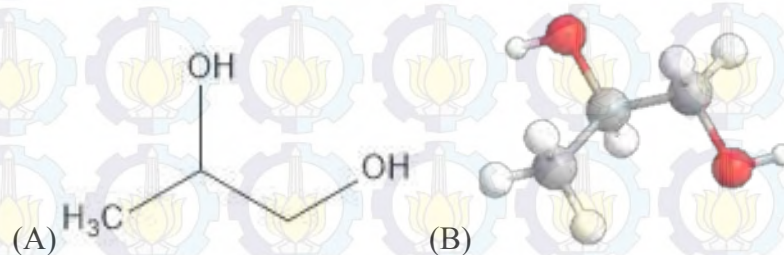
Gambar 4.8 Ilustrasi ikatan hidrogen antara molekul etanol dan air

Pada penetesan etanol-air rasio 3:1 di atas plat PTFE tampak bentuk lengkung tetesan cairan yang cukup besar (Gambar nomor 6 Tabel 4.8). Hasil pemrosesan gambar tetesan cairan menunjukkan hasil sudut kontak sebesar  $42,871^\circ$ . Sudut kontak yang diperoleh cukup besar disebabkan gaya kohesi antar molekul yang cukup kuat dibandingkan gaya adhesi cairan dengan plat PTFE. Besar sudut kontak yang diperoleh antara etanol-air rasio 3:1 dengan plat PTFE lebih besar dibanding besar sudut kontak etanol di atas plat PTFE. Peningkatan besar sudut kontak sebesar  $\pm 13^\circ$ , hal ini disebabkan penambahan molekul air sehingga menambah keberadaan gugus  $-OH$  dalam . Gugus  $-OH$  dari air ini yang



menyebabkan polaritas cairan bertambah, sehingga menambah besar gaya kohesi molekul cairan.

Pada penetesan cairan propilen glikol, etanol-air rasio 1:3, gliserol dan air terlihat peningkatan bentuk lengkungan tetesan cairan (Gambar 7-10 Tabel 4.8). Peningkatan yang terjadi secara berurutan propilen glikol < etanol-air rasio 1:3 < gliserol < air. Propilen glikol merupakan senyawa organik yang memiliki rantai alkil dan gugus hidroksil ( $-OH$ ) sebanyak 2 (diol) seperti ditunjukkan Gambar 4.9. Propilen glikol memiliki skala polaritas Reichardt 0,722. Cairan ini memberikan nilai sudut kontak sebesar  $27,920^\circ$ , ketika ditetaskan di atas plat PMMA dan  $37,176^\circ$  ketika ditetaskan di atas plat PVC. pada plat PTFE tetesan propilen glikol menghasilkan sudut kontak sebesar  $67,495^\circ$ .



Gambar 4.9 Struktur molekul Propilen glikol (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D

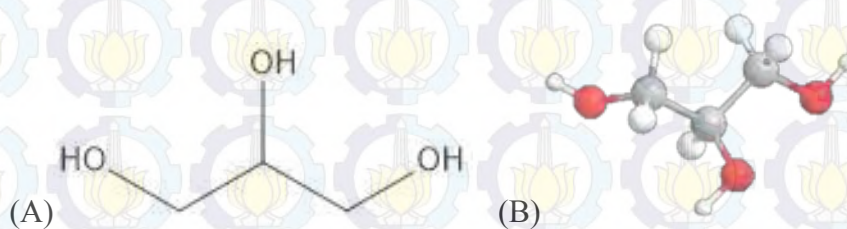
Besar sudut kontak propilen glikol dibandingkan dengan cairan sebelumnya menunjukkan peningkatan pada masing-masing plat. Pada plat PMMA peningkatan sebesar  $\pm 17^\circ$ , PVC sebesar  $\pm 18^\circ$ , dan PTFE sebesar  $\pm 25^\circ$ . Peningkatan ini dipengaruhi struktur propilen glikol yang mengandung dua buah gugus  $-OH$  (diol) yang menyebabkan polaritas cairan cukup besar, yaitu 0,722. Besar polaritas inilah yang menyebabkan gaya kohesi antar molekul propilen glikol cukup besar dibanding gaya adhesi dengan plat, sehingga sudut kontak yang diperoleh juga besar.

Pada etanol-air rasio 1:3 hasil pemrosesan gambar tetesan menghasilkan sudut kontak pada plat PMMA, PVC dan PTFE berturut-turut sebesar  $43,124^\circ$ ,  $48,182^\circ$ , dan  $78,812^\circ$ . Hasil tersebut lebih besar dibanding hasil pada etanol-air 3:1 pada plat PMMA, PVC, dan PTFE secara berturut-turut, yaitu  $10,333^\circ$ ,  $19,306^\circ$ ,



dan  $42,871^\circ$ . Hasil sudut kontak yang cukup besar dibandingkan dengan etanol-air rasio 3:1 menunjukkan bahwa terdapat peningkatan gaya kohesi yang terjadi antar molekul cairan. Penambahan rasio air menambahkan besar polaritas cairan, sehingga gaya kohesi antar molekul juga meningkat. Besar peningkatan sudut kontak juga dapat dibandingkan dengan besar sudut kontak propilen glikol dengan plat, bahwa sudut kontak yang dihasilkan etanol-air rasio 1:3 lebih besar dibanding sudut kontak propilen glikol. Perbedaan besar sudut kontak ini menunjukkan pengaruh polaritas yang diakibatkan dari gugus  $-OH$  air lebih besar dibanding polaritas dari gugus  $-OH$  (diol) dari propilen glikol.

Gliserol yang merupakan senyawa organik dengan rantai alkil dan gugus hidroksil ( $-OH$ ) sebanyak 3 (triol) seperti ditunjukkan Gambar 4.10. Gliserol memiliki skala polaritas Reichardt 0,812, dan dihasilkan sudut kontak sebesar  $55,638^\circ$  ketika ditetaskan pada plat PMMA. Pada penetesan di atas plat lain, sudut kontak yang dihasilkan sebesar  $60,414^\circ$  di atas plat PVC dan  $100,810^\circ$  di atas plat PTFE.



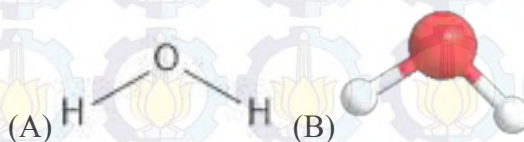
Gambar 4.10 Struktur molekul Gliserol (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D

Bentuk lengkungan tetesan cairan yang cukup besar dapat terlihat dari gambar no 9 Tabel 4.8., sehingga dapat disimpulkan bahwa gaya kohesi yang terjadi antar molekul gliserol cukup kuat. Gaya kohesi yang terjadi disebabkan oleh kekuatan polaritas yang diakibatkan keberadaan gugus  $-OH$  gliserol (triol). Pengamatan terhadap besar sudut kontak gliserol menunjukkan bahwa gugus  $-OH$  pada gliserol (triol) memberikan efek yang cukup besar pada hasil sudut kontak. Besar efek ini dapat diamati dari perbandingan besar sudut kontak propilen glikol yang memiliki dua gugus  $-OH$  (diol) dengan gliserol. Perolehan sudut kontak propilen glikol di atas plat PTFE, yaitu  $67,495^\circ$  sedangkan gliserol  $100,810^\circ$  (selisih



$\pm 33^\circ$ ). Terlihat bahwa gliserol dengan tiga gugus  $\text{-OH}$  (triol) memiliki sudut kontak yang lebih besar dibanding propilen glikol, yang berarti terdapat gaya kohesi yang lebih besar antar molekul gliserol. Besar sudut kontak yang dihasilkan disebabkan oleh besarnya polaritas cairan yang diakibatkan keberadaan gugus  $\text{-OH}$ .

Cairan berikutnya adalah air yang memiliki skala polaritas Reichardt 1,00. air memiliki struktur molekul yang terdiri dari satu atom Oksigen (O) dengan dua atom Hidrogen (H), seperti pada Gambar 4.11. Setelah air diteteskan di atas plat PMMA, memberikan nilai sudut kontak sebesar  $66,697^\circ$ . Penetesan di atas plat PVC menghasilkan sudut  $71,362^\circ$ , sedangkan di atas plat PTFE menghasilkan sudut kontak sebesar  $119,691^\circ$ . Gambar hasil tetesan menunjukkan air menghasilkan lengkungan paling besar dari keseluruhan cairan uji, hal ini menunjukkan bahwa air memiliki gaya kohesi paling besar diantara cairan uji. Gaya kohesi ini dipengaruhi gugus  $\text{-OH}$  pada air yang cukup kuat memberikan efek polaritas. Gugus  $\text{-OH}$  pada air terbukti cukup kuat memberikan efek gaya kohesi. Pengaruh gugus  $\text{-OH}$  ini dapat diamati dari besarnya sudut kontak cairan-cairan yang memiliki gugus  $\text{-OH}$  lainnya, seperti etanol, propilen glikol, dan gliserol. Dapat dilihat bahwa sudut kontak yang dihasilkan tetesan air di atas plat padatan paling besar.



Gambar 4.11 Struktur molekul Air (A) struktur rantai 2-D (B) struktur rantai 3-D

Pada penetesan keseluruhan cairan di atas plat polimer, tetesan yang menghasilkan sudut paling besar adalah antara air dengan plat PTFE. Selain karena gaya kohesi yang disebabkan besarnya polaritas pada air, hasil sudut kontak ini juga dipengaruhi oleh polaritas plat. Plat PTFE dikenal sebagai plat non-polar, sedangkan air termasuk senyawa polar. Polaritas masing-masing senyawa tersebut mempengaruhi besar gaya adhesi antara cairan uji dengan plat. Hasil tetesan air di atas plat PTFE menunjukkan bahwa gaya kohesi air sangat besar dibanding dengan gaya adhesi antara cairan dan plat polimer. Gaya kohesi air yang dipengaruhi oleh

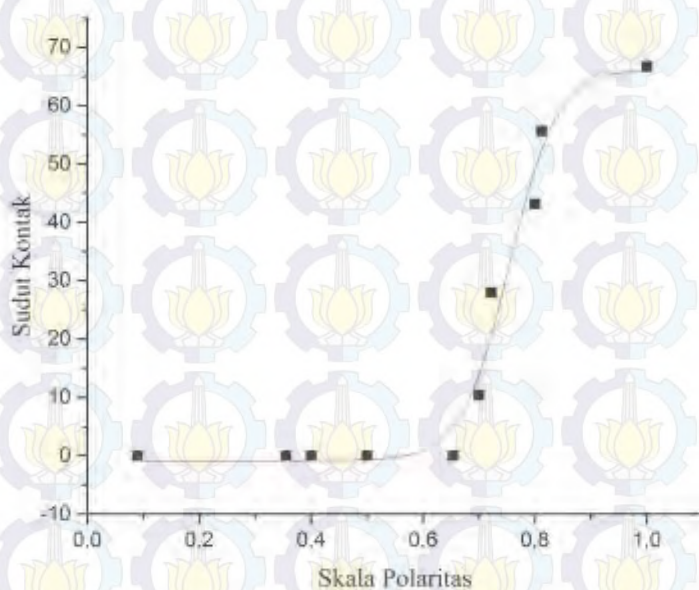


adanya gugus –OH antar molekulnya dan gaya adhesi yang lemah disebabkan oleh polaritas yang berbeda antara air dan plat PTFE.

#### 4.4 Penentuan Hubungan Sudut Kontak dan Skala Polaritas

Hubungan sudut kontak dengan polaritas ditentukan dengan membuat aluran sudut kontak yang diperoleh pada tiga plat terhadap skala polaritas Reichardt. Masing-masing perolehan sudut kontak pada plat berbeda akan digunakan untuk menentukan plat mana yang baik digunakan sebagai standar, serta untuk memastikan kesamaan korelasi untuk setiap plat.

Pada plat PMMA menunjukkan perubahan besar sudut kontak dimulai dari sudut kontak  $0^\circ$  hingga  $66,697^\circ$ . Dari data Tabel 4.3 akan dibuat aluran sudut kontak terhadap skala polaritas untuk melihat keterkaitan antara sudut kontak cairan dengan polaritas cairan. Kurva yang dihasilkan menunjukkan korelasi sigmoidal dengan nilai  $R^2 = 0,96579$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.

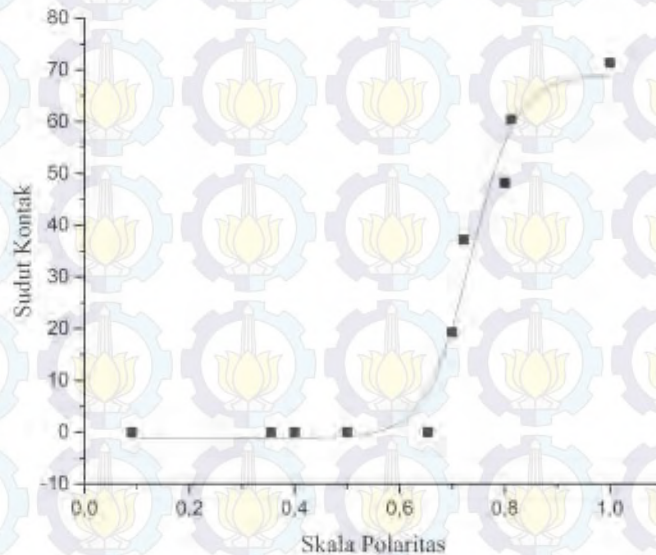


Gambar 4.12 Kurva sudut kontak terhadap skala polaritas cairan uji pada plat PMMA

Pada plat PVC menunjukkan perubahan besar sudut kontak dimulai dari sudut kontak  $0^\circ$  hingga  $71,362^\circ$ . Dari data Tabel 4.4 akan dibuat aluran sudut kontak terhadap skala polaritas seperti halnya pada hasil pengukuran pada plat PMMA.



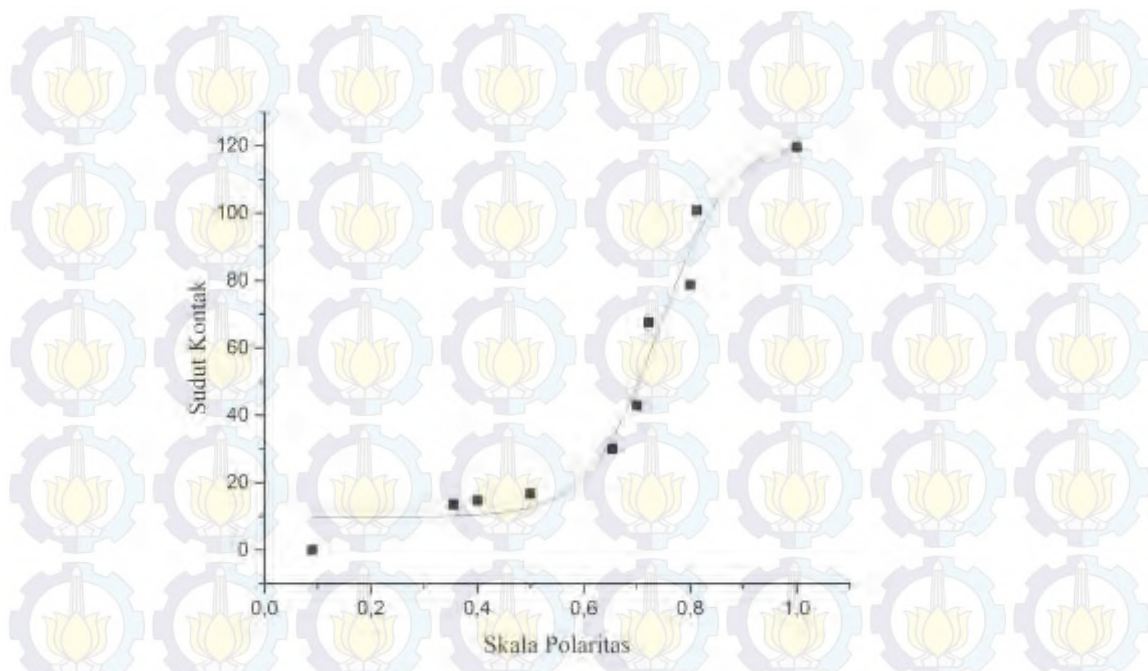
Kurva yang dihasilkan hampir sama seperti pada plat PMMA yaitu membentuk korelasi sigmoidal dengan nilai  $R^2 = 0,95469$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Kurva sudut kontak terhadap skala polaritas cairan uji pada plat PVC

Pada plat PTFE menunjukkan perubahan besar sudut kontak yang cukup jelas, dimulai dari sudut kontak  $0^\circ$  hingga  $119,691^\circ$ . Sebagaimana pada data yang diperoleh dari percobaan pada plat PMMA dan PVC, dari data Tabel 4.7 akan dibuat aluran sudut kontak terhadap skala polaritas cairan uji. Seperti perolehan kurva pada plat PMMA dan PVC, kurva yang dihasilkan pada plat PTFE juga membentuk korelasi sigmoidal dengan nilai  $R^2 = 0,95511$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14.





Gambar 4.14 Kurva sudut kontak terhadap skala polaritas cairan uji pada plat PTFE

Ketiga kurva menunjukkan adanya korelasi antara sudut kontak dengan skala polaritas Reichardt. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan besar sudut kontak sesuai dengan meningkatnya besar skala polaritas cairan. Bentuk kurva sigmoidal ketiga plat polimer ini dapat menjadi rujukan dalam pembuatan skala polaritas cairan, karena terdapat 3 daerah yang berbeda. Daerah pertama adalah rentang skala polaritas 0 hingga 0,6, daerah kedua adalah rentang skala polaritas 0,6 hingga 0,8, dan yang terakhir adalah rentang skala polaritas 0,8 hingga 1.

Pada kurva yang dihasilkan pada plat PMMA dan PVC menunjukkan bahwa pada cairan *n*-heksana, aseton dan etanol memperoleh sudut kontak yang sama yaitu sebesar 0°. Perolehan sudut kontak tersebut menyebabkan penentuan polaritas cairan *n*-heksana, aseton dan etanol sangat sulit jika dilakukan dengan plat PMMA dan PVC. Pada kurva yang dihasilkan plat PTFE menunjukkan sudut kontak antara *n*-heksana, aseton dan etanol terlihat perbedaan yang signifikan, sehingga polaritas masing-masing cairan dapat ditentukan. Oleh karena itu, plat PTFE dapat digunakan sebagai salah satu standar dalam penentuan polaritas cairan selain plat polimer lain.



#### 4.5 Penyusunan Modul Praktikum

Perancangan modul praktikum akan disesuaikan dengan deskripsi mata kuliah kimia permukaan, serta capaian pembelajaran pada mata kuliah tersebut. Rancangan modul praktikum akan menggunakan sintaks model pembelajaran inkuiri terbimbing. Modul praktikum tersebut memiliki kerangka sebagai berikut:

a. Judul Praktikum

“Pengukuran Sudut Kontak Sebagai Metode Penentuan Polaritas Cairan”

b. Capaian Pembelajaran Praktikum

1. Mahasiswa dapat menggunakan alat pengukur sudut kontak (goniometer) dengan baik.
2. Mahasiswa dapat menentukan sudut kontak cairan menggunakan goniometer.
3. Mahasiswa dapat menyebutkan gaya yang terjadi di permukaan padatan dan cairan.
4. Mahasiswa dapat menjelaskan interaksi yang terjadi antara padatan dan cairan.
5. Mahasiswa dapat menjelaskan polaritas padatan dan cairan
6. Mahasiswa dapat menentukan polaritas cairan dari sudut kontak yang diperoleh dari percobaan

c. Tinjauan Pustaka

Pada bagian ini akan diberikan paparan singkat mengenai teori yang mendukung percobaan yang akan dilakukan mahasiswa. Materi tersebut berupa;

1. Polaritas
2. Sudut kontak

d. Penyajian dan Perumusan Masalah

Pada bagian ini dijelaskan permasalahan yang mengkaitkan sudut kontak dan polaritas. Mahasiswa dibimbing untuk membuat pertanyaan dan menuliskannya dalam modul.

e. Pembuatan Hipotesis

Pada bagian ini mahasiswa dibimbing untuk membuat hipotesis-hipotesis untuk menjawab rumusan masalah yang telah dibuat.



f. Perancangan Percobaan

Pada bagian ini mahasiswa dibimbing dan dipersilahkan melakukan percobaan untuk memperoleh hasil yang dapat digunakan untuk membuktikan hipotesis atau menjawab rumusan masalah yang telah dibuat. Pada bagian ini berisikan;

- Alat dan Bahan
- Prosedur Kerja

g. Analisis Data dan Kesimpulan

Pada bagian ini mahasiswa diberi ruang untuk mengisikan data-data hasil percobaan kemudian diminta untuk menganalisis perolehan data. Setelah menganalisis data mahasiswa diminta untuk membuat kesimpulan dari percobaan yang dilakukan.

h. Pre-Lab

Pada bagian ini mahasiswa diberikan beberapa pertanyaan untuk mengetahui dan memberikan gambaran mengenai percobaan yang akan dilakukan.

i. Post-Lab

Pada bagian ini mahasiswa diberikan beberapa pertanyaan setelah melakukan percobaan, untuk mengetahui pengetahuan yang diperoleh setelah mahasiswa menyelesaikan percobaannya.

Modul praktikum telah diuji cobakan secara terbatas pada 32 mahasiswa, untuk mengecek pemahaman mahasiswa mengenai materi tegangan permukaan dan sudut kontak. Hasil uji coba menunjukkan respon yang cukup baik dari mahasiswa, yaitu sebanyak 88% mahasiswa menyatakan praktikum dapat meningkatkan pemahaman mengenai tegangan permukaan dan sudut kontak 9% menyatakan tidak dan 3% lain-lain. Selain itu, 91% responden menyatakan percobaan pengukuran sudut kontak perlu dijadikan praktikum pendukung pembelajaran, 6% lain-lain, dan 3% tidak perlu.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

Percobaan mengenai pengukuran sudut kontak untuk menentukan polaritas cairan telah dilakukan dengan baik. Beberapa hasil juga telah diperoleh dan dianalisis. Melalui analisis dan pembahasan hasil dapat diketahui beberapa kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

#### 5.1 Kesimpulan

Dari beberapa hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu;

1. Pengukuran sudut kontak telah memberikan beberapa hasil dan diketahui bahwa terdapat hubungan antara polaritas cairan dan padatan terhadap sudut kontak. Terdapat beberapa variasi besar sudut kontak pada tetesan beberapa cairan yang memiliki polaritas yang berbeda-beda di atas plat polimer. Pada plat PTFE sudut kontak terendah ditunjukkan oleh *n*-heksana ( $E_T^N = 0,09$ ), yaitu  $0,000^\circ$  dan sudut kontak tertinggi ditunjukkan oleh air ( $E_T^N = 1$ ), yaitu  $119,691^\circ$ . Pada plat PMMA sudut kontak yang diperoleh berturut-turut, *n*-heksana =  $0,000^\circ$  dan air =  $66,697^\circ$ , sedangkan pada plat PVC *n*-heksana =  $0,000^\circ$ , air =  $71,362^\circ$ . Dari hasil tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa besar sudut kontak sesuai dengan besar polaritas cairan.
2. Hubungan sudut kontak dengan polaritas cairan ditunjukkan dengan kurva yang menghasilkan korelasi sigmoidal dengan nilai  $R^2$  pada PTFE, PMMA, dan PVC berturut-turut, yaitu 0,95511, 0,96579, dan 0,95469. Korelasi antara skala polaritas cairan terhadap sudut kontak menunjukkan bahwa pengukuran sudut kontak dapat digunakan sebagai metode dalam penentuan polaritas cairan dengan mudah dan efisien.
3. Sebanyak 88% mahasiswa menyatakan praktikum dapat meningkatkan pemahaman mengenai tegangan permukaan dan sudut kontak 9% menyatakan tidak dan 3% lain-lain. Selain itu, 91% responden menyatakan



percobaan pengukuran sudut kontak perlu dijadikan praktikum pendukung pembelajaran, 6% lain-lain, dan 3% tidak perlu.

## 5.2 Saran

Dari keberhasilan penelitian ini tentu saja masih terdapat beberapa kekurangan, oleh karena itu penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut;

1. Perlu dilakukan pengukuran sudut kontak beberapa cairan lain dengan polaritas yang lebih pendek rentang polaritasnya.
2. Perlu dilakukan pengukuran sudut kontak pada plat polimer yang lebih non-polar dibanding PTFE.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W., dan Gast, A.P., (1997), *Physical Chemistry of Surfaces*, Wiley.
- Anggriawan, Wahyu, (2015), *Fabrikasi Alat Ukur Sudut Kontak Untuk Mengetahui Sifat Polaritas Suatu Bahan*, Tugas Akhir Sarjana Kimia, Institut teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- ASTM C813-90, (2004), *Standard Test Method for Hydrophobic Contamination on Glass by Contact Angle Measurement*, ASTM International, United States.
- ASTM D5946-04. (n.d), *Standard Test Method for Corona-Treated Polymer Film Using Water Contact Angle Measurements*, ASTM International, United States.
- Atkins, P., dan Paula, J. de, (2006), *Physical Chemistry*, W. H. Freeman.
- Bateni, A., Susnar, S.S., Amirfazli, A., dan Neumann, A.W., (2003), "A high-accuracy polynomial fitting approach to determine contact angles", *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* 219, 215–231.
- Bicerano, J., (2002), *Prediction of Polymer Properties*, CRC Press.
- Bigelow, W.C., Pickett, D.L., dan Zisman, W.A., (1946), "Oleophobic monolayers: I. Films adsorbed from solution in non-polar liquids", *J. Colloid Sci.*, 1, 513–538.
- Billmeyer, F.W., (1984), *Textbook of Polymer Science*, Wiley.
- Bravo, J., Zhai, L., Wu, Z., Cohen, R.E., dan Rubner, M.F., (2007), "Transparent Superhydrophobic Films Based on Silica Nanoparticles", *Langmuir* 23, 7293–7298.
- Callister, W.D., (2006), *Materials Science and Engineering: An Introduction*, John Wiley & Sons, Incorporated.
- Chini, S.F., dan Amirfazli, A., (2011), "A method for measuring contact angle of asymmetric and symmetric drops", *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.*, 388, 29–37.
- Cowd, M.A., (1991), *Kimia Polimer, terjemahan*, Penerbit ITB, Bandung.
- Dionísio, M., dan Sotomayor, J., (2000), "A Surface Chemistry Experiment Using an Inexpensive Contact Angle Goniometer", *J. Chem. Educ.*, 77, 59.



Ebnesajjad, S., dan Ebnesajjad, C., (2013), *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*, William Andrew.

Effendy, (2013), *Teori VSEPR: Kepolaran, dan Gaya Antarmolekul Edisi Ketiga*, Bayu Media Publishing, Malang.

Firdaus, (n.d), *Dasar-dasar Ilmu Polimer*, LPPM Universitas Jayabaya, Jakarta

Fritzsche, J., Peuker, U.A., 2015. "Wetting and Adhesive Forces on Rough Surfaces – An Experimental and Theoretical Study". *Procedia Eng., New Paradigm of Particle Science and Technology Proceedings of The 7th World Congress on Particle Technology* 102, 45–53.

Gomes, D.J.C., de Souza, N.C., dan Silva, J.R., (2013), "Using a monocular optical microscope to assemble a wetting contact angle analyser", *Measurement* 46, 3623–3627.

Grundke, K., Pöschel, K., Synytska, A., Frenzel, R., Drechsler, A., Nitschke, M., Cordeiro, A.L., Uhlmann, P., dan Welzel, P.B., (n.d), "Experimental studies of contact angle hysteresis phenomena on polymer surfaces — Toward the understanding and control of wettability for different applications", *Adv. Colloid Interface Sci*, doi:10.1016/j.cis.2014.10.012.

Hiemenz, P.C., dan Rajagopalan, R., (1997), *Principles of Colloid and Surface Chemistry, Third Edition*, Revised and Expanded., CRC Press.

Jurusan Kimia. 2014. Silabus Kimia S1. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

Kabza, K.G., Gestwicki, J.E., dan McGrath, J.L., (2000), "Contact Angle Goniometry as a Tool for Surface Tension Measurements of Solids, Using Zisman Plot Method. A Physical Chemistry Experiment", *J. Chem. Educ.*, 77, 63.

Kalin, M., dan Polajnar, M., (2014), "The wetting of steel, DLC coatings, ceramics and polymers with oils and water: The importance and correlations of surface energy, surface tension, contact angle and spreading", *Appl. Surf. Sci*, 293, 97–108.

Katritzky, A.R., Fara, D.C., Yang, H., Tamm, K., Tamm, T., dan Karelson, M., (2004), "Quantitative Measures of Solvent Polarity", *Chem. Rev*, 104, 175–198.



- Kwok, D.Y., Gietzelt, T., Grundke, K., Jacobasch, H.-J., dan Neumann, A.W., (1997), "Contact Angle Measurements and Contact Angle Interpretation. 1. Contact Angle Measurements by Axisymmetric Drop Shape Analysis and a Goniometer Sessile Drop Technique", *Langmuir* 13, 2880–2894.
- Lamour, G., Hamraoui, A., Buvailo, A., Xing, Y., Keuleyan, S., Prakash, V., Eftekhari-Bafrooei, A., dan Borguet, E., (2010), "Contact Angle Measurements Using a Simplified Experimental Setup", *J. Chem. Educ.* 87, 1403–1407.
- Li, D., Cheng, P., dan Neumann, A.W., (1992), "Contact angle measurement by axisymmetric drop shape analysis (ADSA)", *Adv. Colloid Interface Sci.* 39, 347–382.
- Li, D., dan Neumann, A.W., (1992), "Contact angles on hydrophobic solid surfaces and their interpretation", *J. Colloid Interface Sci.* 148, 190–200.
- Makosz, J.J., (1994), "Dipole moment of molecules determined from dielectric measurements in very dilute solutions of a dipole liquid in a nondipole liquid", *J. Mol. Liq.* 59, 103–113.
- McMurry, J.E., dan Fay, R.C., (2012), *Chemistry & Student Solutions Manual Pkg.* Prentice Hall.
- Miessler, G.L., Fischer, P.J., dan Tarr, D.A., (2013), *Inorganic Chemistry 5<sup>th</sup>*, Pearson Education.
- Reichardt, C., (1994), "Solvatochromic Dyes as Solvent Polarity Indicators", *Chem. Rev.* 94, 2319–2358.
- Restolho, J., Mata, J.L., dan Saramago, B., (2009), "On the interfacial behavior of ionic liquids: Surface tensions and contact angles", *J. Colloid Interface Sci.* 340, 82–86.
- Rotenberg, Y., Boruvka, L., dan Neumann, A.W., (1983), "Determination of surface tension and contact angle from the shapes of axisymmetric fluid interfaces", *J. Colloid Interface Sci.* 93, 169–183.
- Shang, J., Flury, M., Harsh, J.B., dan Zollars, R.L., (2008), "Comparison of different methods to measure contact angles of soil colloids", *J. Colloid Interface Sci.* 328, 299–307.



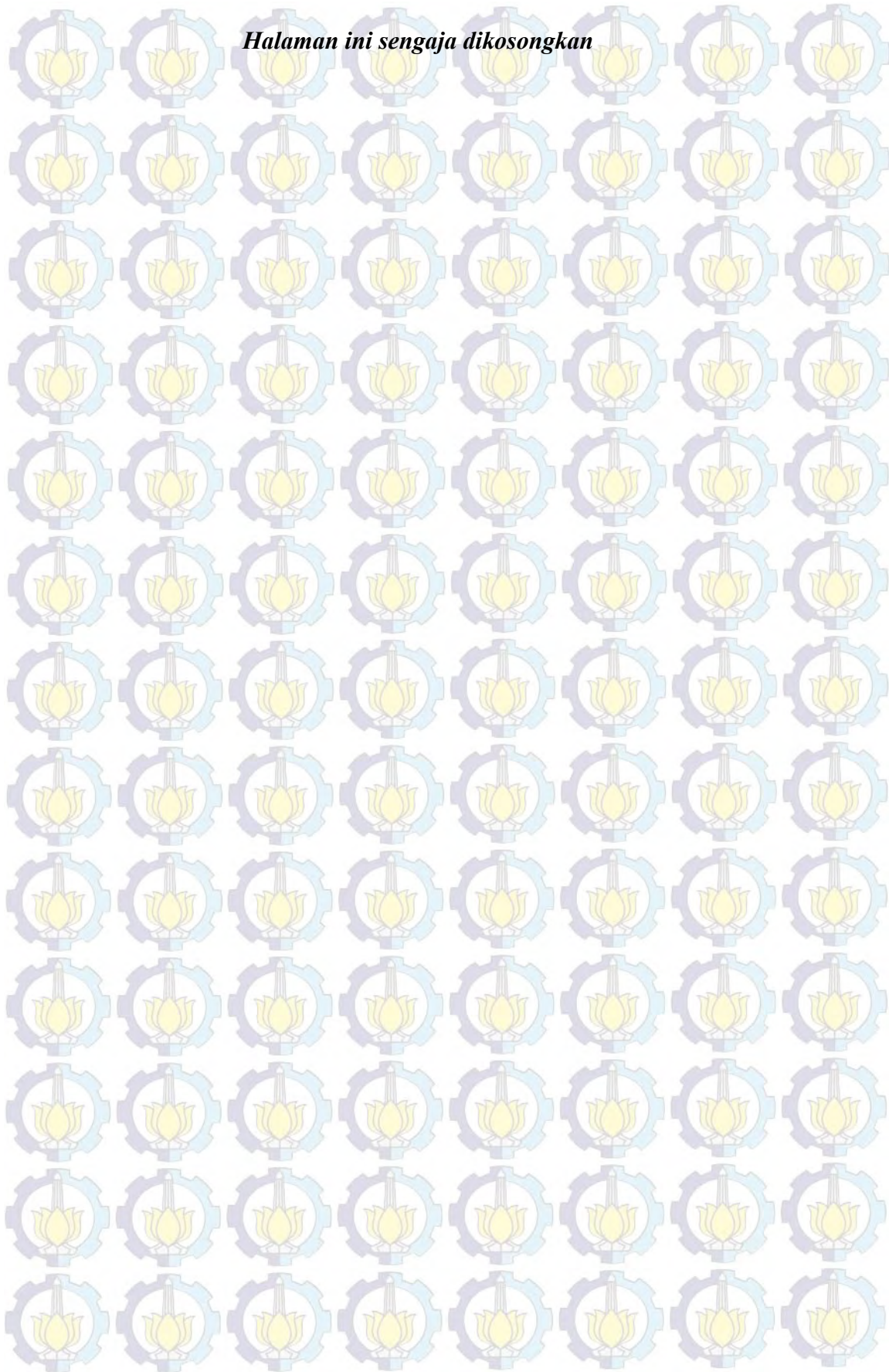
- Silverstein, T.P., 1993. "Polarity, miscibility, and surface tension of liquids". *J. Chem. Educ.* 70, 253.
- Solomons, T.W.G., dan Fryhle, C., (2009), *Organic Chemistry*, John Wiley & Sons.
- Soon, C.F., Omar, W.I.W., Nayan, N., Basri, H., Narawi, M.B., dan Tee, K.S., (2013), "A Bespoke Contact Angle Measurement Software and Experimental Setup for Determination of Surface Tension", *Procedia Technol.*, 4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics, ICEEI 2013 11, 487–494.
- Stalder, A.F., Kulik, G., Sage, D., Barbieri, L., dan Hoffmann, P., (2006), "A snake-based approach to accurate determination of both contact points and contact angles", *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.*, 286, 92–103.
- Stalder, A.F., Melchior, T., Müller, M., Sage, D., Blu, T., dan Unser, M., (2010), "Low-bond axisymmetric drop shape analysis for surface tension and contact angle measurements of sessile drops", *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.*, 364, 72–81.
- Szymczyk, K., Zdziennicka, A., Krawczyk, J., Jańczuk, B., 2012. "Wettability, adhesion, adsorption and interface tension in the polymer/surfactant aqueous solution system. I. Critical surface tension of polymer wetting and its surface tension". *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* 402, 132–138.
- Tavana, H., dan Neumann, A.W., (2007), "Recent progress in the determination of solid surface tensions from contact angles", *Adv. Colloid Interface Sci.*, 132, 1–32.
- Włodarska, M., (2014), "Dipole moment calculation in solution for some liquid crystalline molecules", *J. Mol. Struct.*, 1059, 44–50.
- Wong, J.X.H., dan Yu, H.-Z., (2013), "Preparation of Transparent Superhydrophobic Glass Slides: Demonstration of Surface Chemistry Characteristics", *J. Chem. Educ.*, 90, 1203–1206.
- Xu, B., Liu, D., Xu, G., Zhang, X., dan Bi, L., (2013), "A measurement method for contact angle based on Hough Transformation", *Measurement* 46, 1109–1114.



Yuan, Y., dan Lee, T.R., (2013), "Contact Angle and Wetting Properties", dalam *Surface Science Techniques*, Bracco, G., Holst, B. (Eds.), Springer Series in Surface Sciences, Springer Berlin Heidelberg, pp. 3–34.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*





## LAMPIRAN

### A. Skema Kerja

#### A.1. Penentuan Sudut Kontak



Keterangan :

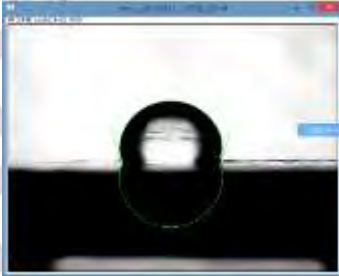
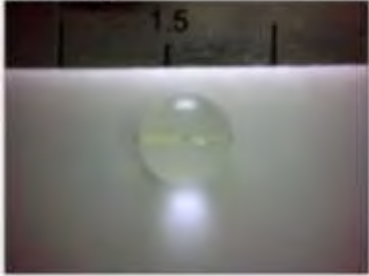

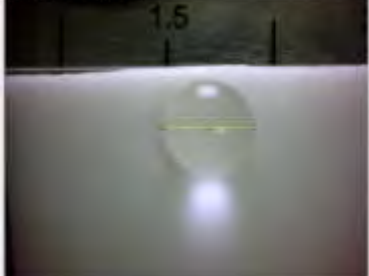


Δ Cairan uji : *n*-heksana, aseton, etanol, gliserol, propilen glikol, aqua DM, cairan aseton-etanol dengan rasio 1:3 dan 3:1, serta cairan etanol-air dengan rasio 1:3 dan 3:1

Θ Plat polimer : PTFE, PMMA, dan PVC




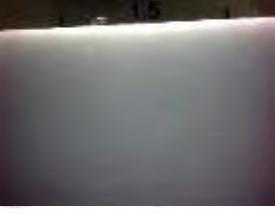






## B. Hasil Gambar Tetesan Cairan

### B.1 Gambar tetesan kalibrasi alat


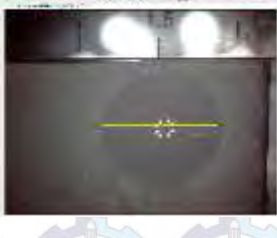


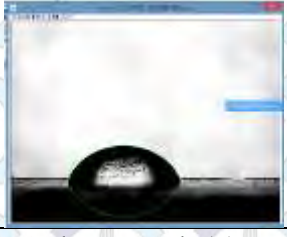

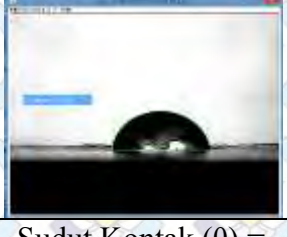



| No. | Cairan | Gambar tetesan cairan (samping)                                                     | Gambar tetesan cairan (atas)                                                         |
|-----|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Air    |    |    |
|     |        | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>108,244°                                             | Diameter (D) = 0,439 cm                                                              |
| 2   |        |   |   |
|     |        | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>109,056°                                             | Diameter (D) = 0,421 cm                                                              |
| 3   |        |  |  |
|     |        | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>110,121°                                             | Diameter (D) = 0,419 cm                                                              |



## B.2 Gambar tetesan cairan uji pada plat PTFE

| No. | Cairan              | Gambar tetesan cairan (samping)                                                     | Gambar tetesan cairan (atas)                                                          |
|-----|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | <i>n</i> -Heksana   |    |    |
|     |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) = 0,000                                                   | Diameter (D) = >1 cm                                                                  |
| 2   | Aseton              |   |    |
|     |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) = 13,845°                                                 | Diameter (D) = 0,775 cm                                                               |
| 3   | Aseton-etanol (3:1) |  |  |
|     |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) = 15,126°                                                 | Diameter (D) = 0,757 cm                                                               |
| 4   | Aseton-etanol (1:3) |  |  |
|     |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) = 16,183°                                                 | Diameter (D) = 0,758 cm                                                               |






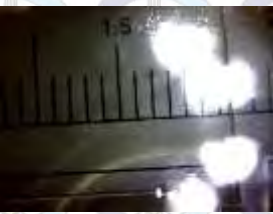


|   |                     |                                                                                     |                                                                                      |
|---|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Etanol              |    |    |
|   |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>30,005                                               | Diameter (D) =<br>0,715 cm                                                           |
| 6 | Etanol-air<br>(3:1) |    |    |
|   |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>42,871°                                              | Diameter (D) =<br>0,625 cm                                                           |
| 7 | Propilen<br>glikol  |   |   |
|   |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>67,495°                                              | Diameter (D) =<br>0,476 cm                                                           |
| 8 | Etanol-air<br>(1:3) |  |  |
|   |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>78,712°                                              | Diameter (D) =<br>0,465 cm                                                           |
| 9 | Gliserol            |  |  |
|   |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>100,810°                                             | Diameter (D) =<br>0,428 cm                                                           |


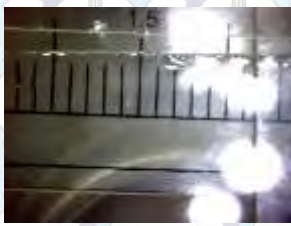





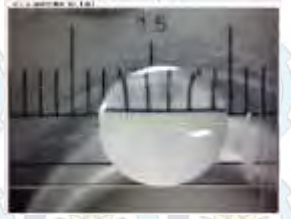




|    |     |                                                                                   |                                                                                     |
|----|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 | Air |  |  |
|    |     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) = $119,691^\circ$                                       | Diameter (D) = 0,413 cm                                                             |



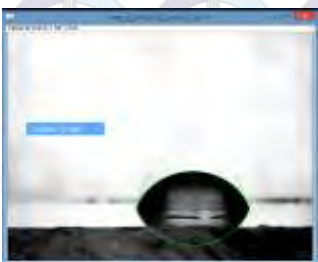

### B.3 Gambar tetesan cairan uji pada plat PMMA

| No. | Cairan              | Gambar tetesan cairan (samping)                                                     | Gambar tetesan cairan (atas)                                                          |
|-----|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | <i>n</i> -Heksana   |   |   |
|     |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) = $0,000^\circ$                                           | Diameter (D) = >1 cm                                                                  |
| 2   | Aseton              |  |  |
|     |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) = $0,000^\circ$                                           | Diameter (D) = >1 cm                                                                  |
| 3   | Aseton-etanol (3:1) |  |  |
|     |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) = $0,000^\circ$                                           | Diameter (D) = >1 cm                                                                  |




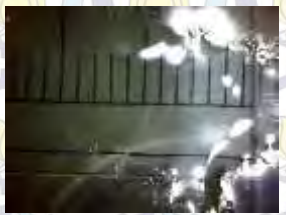


|   |                            |                                                                                     |                                                                                      |
|---|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | Aseton-<br>etanol<br>(1:3) |    |    |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>0,000°                                               | Diameter (D) = >1<br>cm                                                              |
| 5 | Etanol                     |    |    |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>0,000°                                               | Diameter (D) = > 1<br>cm                                                             |
| 6 | Etanol-air<br>(3:1)        |   |   |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>10,333°                                              | Diameter (D) =<br>0,956 cm                                                           |
| 7 | Propilen<br>glidikol       |  |  |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>27,920°                                              | Diameter (D) =<br>0,793 cm                                                           |
| 8 | Etanol-air<br>(1:3)        |  |  |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>43,124°                                              | Diameter (D) =<br>0,653 cm                                                           |






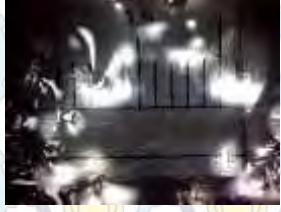






|    |          |                                                                                   |                                                                                    |
|----|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 9  | Gliserol |  |  |
|    |          | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>55,638°                                            | Diameter (D) =<br>0,605 cm                                                         |
| 10 | Air      |  |  |
|    |          | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>66,697°                                            | Diameter (D) =<br>0,556 cm                                                         |




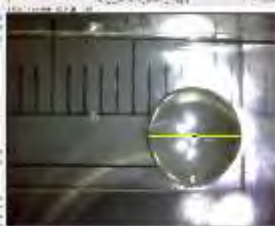
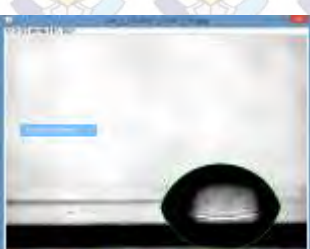

B.4 Gambar tetesan cairan uji pada plat PVC

| No. | Cairan            | Gambar tetesan cairan (samping)                                                     | Gambar tetesan cairan (atas)                                                         |
|-----|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | <i>n</i> -Heksana |  |  |
|     |                   | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>0,000°                                               | Diameter (D) = >1<br>cm                                                              |
| 2   | Aseton            |  |  |
|     |                   | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>0,000°                                               | Diameter (D) = >1<br>cm                                                              |



|   |                            |                                                                                     |                                                                                      |
|---|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | Aseton-<br>etanol<br>(3:1) |    |    |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>0,000°                                               | Diameter (D) = >1<br>cm                                                              |
| 4 | Aseton-<br>etanol<br>(1:3) |    |    |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>0,000°                                               | Diameter (D) = >1<br>cm                                                              |
| 5 | Etanol                     |   |   |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>0,000°                                               | Diameter (D) = >1<br>cm                                                              |
| 6 | Etanol-air<br>(3:1)        |  |  |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>19,306°                                              | Diameter (D) =<br>0,893 cm                                                           |
| 7 | Propilen<br>glikol         |  |  |
|   |                            | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>37,176°                                              | Diameter (D) =<br>0,698 cm                                                           |



|    |                     |                                                                                     |                                                                                       |
|----|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 8  | Etanol-air<br>(1:3) |    |    |
|    |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>48,182°                                              | Diameter (D) =<br>0,629 cm                                                            |
| 9  | Gliserol            |    |    |
|    |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>60,414°                                              | Diameter (D) =<br>0,561 cm                                                            |
| 10 | Air                 |  |  |
|    |                     | Sudut Kontak ( $\theta$ ) =<br>71,362°                                              | Diameter (D) =<br>0,522 cm                                                            |



## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Muhammad Alwi Syahara. Dilahirkan di Kediri pada 19 Maret 1990. Pendidikan menengahnya diperoleh di Madrasah Aliyah Negeri 3 Kediri pada tahun 2004-2007. Gelar sarjana pendidikannya diperoleh dari prodi S-1 Pendidikan Kimia Universitas Negeri Surabaya (2007-2011). Karir sebagai seorang guru dimulai pada tahun 2012 di Madrasah Aliyah Bilingual Ulul Albab dan SMK Islam Ulul Albab Nganjuk. Pada tahun 2013 diterima sebagai penerima Beasiswa Calon Dosen Dikti sekaligus mahasiswa Pascasarjana Kimia (S-2) Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan dosen wali Prof. Dr. Surya Rosa Putra, M.S.

dan Sri Fatmawati, M.Sc., Ph.D. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai guru kimia honorer di Madrasah Aliyah Negeri 2 Kediri hingga saat ini. Penelitian tingkat sarjana diselesaikan dengan judul “Implementasi Instrumen Penilaian Kinerja (*Performance Assessment*) Siswa Pada Materi Pokok Titrasi Asam Basa Untuk Kelas XI Rintisan Sekolah Menengah Atas Bertaraf Internasional”. Pada jenjang magister penelitiannya dibimbing oleh Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si. dengan judul “Pengukuran Sudut Kontak Untuk Mengetahui Polaritas Cairan Sebagai Bahan Modul Praktikum Tegangan Permukaan”. Penulis dapat dihubungi melalui email : [ibnu.masrury@gmail.com](mailto:ibnu.masrury@gmail.com).

“Khoîrunnaas Anfa’uhum linnaas”

-Rasullullah SAW

وَقَوْقَ كُلِّ ذِي عِلْمٍ عَلِيمٌ

-QS 12:76